This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
1080.40
v.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787–1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE

ANNÉE 1904.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

BULLETIN DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE

PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1904.

PARIS,

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,

44, RUE DE RENNES, 44.

—

1904

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

Sur le fonctionnement de cohéreurs associés;

Par M. A. Turpain [1].

Au cours des recherches que je poursuis dans le but de rendre aussi pratique et aussi complète que possible l'observation des orages par le cohéreur, j'ai dû étudier les particularités que présente le fonctionnement de plusieurs cohéreurs réunis à une même antenne.

Dispositif. — Sur une planchette isolante en ébonite peuvent être fixés côte à côte 6 cohéreurs à limaille de fer, qui sont serrés entre des pièces de cuivre isolées les unes des autres, de manière à permettre facilement l'association des cohéreurs en dérivation, en série ou même suivant un mode mixte d'association. — La décohésion se produit aisément par la frappe de la planchette, qui est fixée par un de ses bords en porte-à-faux. — L'antenne, qui est formée de un ou de plusieurs fils parallèles, peut être mise en relation avec une électrode quelconque de l'un des cohéreurs. Ces communications diverses des électrodes des cohéreurs entre elles et avec les fils parallèles d'antenne s'obtiennent aisément au moyen de petits godets de mercure reliés entre eux par des ponts de longueur et de formes appropriées.

Un pile sèche d'un élément ($1^v,5$ environ) est shuntée par une résistance de 200^ω ; on envoie le courant emprunté aux extrémités d'une résistance de 3 à 6^ω dans les cohéreurs et dans le circuit d'un galvanomètre très sensible (galvanomètre Chauvin et Arnoux donnant 0,005 de microampère). Les élongations du galvanomètre servent à juger du degré de cohésion des cohéreurs lors de chaque essai.

On a étudié tout d'abord chacun des six cohéreurs en les disposant seuls sur la tablette isolante. On a cherché à graduer la sensibilité de

[1] Séance du 19 février 1904.

ces cohéreurs en variant la distance des électrodes. Ces électrodes sont éloignées, suivant les cohéreurs, de 8/10, 9/10, 10/10, 12/10, 14/10 et 16/10 de millimètre. Toutes choses égales d'ailleurs, l'ordre des sensibilités ne s'est pas toujours trouvé être l'ordre des écarts entre électrodes. Les cohéreurs ont été associés en dérivation et en série et ont donné lieu aux observations suivantes.

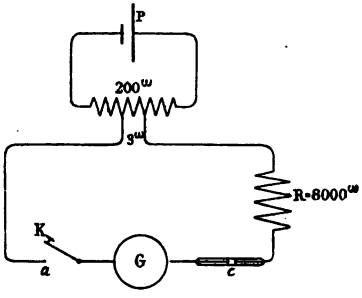


Fig. 1.

I. Étude d'un seul cohéreur. — Lorsqu'on dispose dans le circuit d'une pile et d'un galvanomètre un cohéreur, le circuit comprenant une résistance R (R = 8000ω) (*fig.* 1), on constate que *la sensibilité du cohéreur est notablement différente, suivant que le circuit est ouvert ou fermé au moment où les ondes sont envoyées* (ce qui s'obtient en séparant ou en réunissant *a* et K).

Cohéreurs	Distance du cohéreur (antenne de réception) au trembleur (antenne d'émission)		
	Circuit fermé	Déviation du galvanomètre	Circuit ouvert
8/10	45cm	65	26cm
9/10	40	66	23
10/10	28	72	13
14/10	25	70	4
16/10	19	75	3

II. Cohéreurs associés en dérivation. — Les électrodes des six cohéreurs associés sont réunies, d'une part, entre elles et à l'antenne A (*fig.* 2); elles communiquent chacune, d'autre part, avec de petits godets de mercure *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, dans lesquels on peut faire plonger à volonté le fil terminal K du circuit comprenant le galvanomètre G, la pile shuntée P et une résistance R de 8000ω.

En utilisant la même pile shuntée, on a constitué trois circuits déri-

vés comprenant chacun une résistance R de 8000ω et permettant ainsi de mettre en circuit fermé jusqu'à trois cohéreurs à la fois. Si les cohéreurs se trouvent tous les trois cohérés, les déviations du galvanomètre s'additionnent; il est dès lors aisé de savoir, suivant la division indiquée par le galvanomètre, si un seul, deux ou trois cohéreurs ont été cohérés.

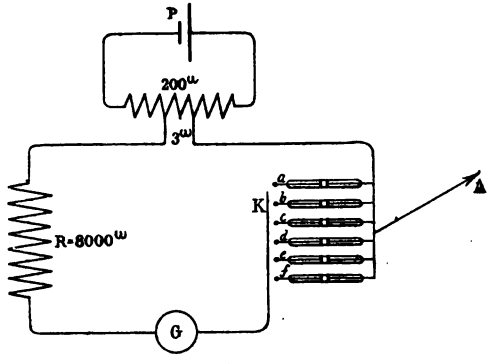


Fig. 2.

1° *Lorsque les six cohéreurs sont tous en circuit ouvert, ils conservent la même sensibilité relative que s'ils sont tous en circuit fermé; mais la sensibilité de chacun d'eux est bien moindre en circuit ouvert qu'en circuit fermé;*

2° Si un des six cohéreurs est placé en circuit fermé, les cinq autres restant en circuit ouvert, *le cohéreur placé en circuit fermé acquiert une sensibilité beaucoup plus grande que celle qu'il présente en circuit ouvert* et peut se montrer plus sensible que le plus sensible des cohéreurs.

Le tableau suivant, qui indique les déviations galvanométriques dans chaque cas, met ce fait en évidence.

Cohéreurs	en circuit ouvert	Déviations observées après cohésions l'un des cohéreurs (1) étant en circuit fermé					
8/10	53	86.	38	28	28	36	36
9/10	59	13	88.	12	10	9	35
10/10	1	1	1	70.	1	1	1
12/10	17	14	18	13	87.	9	21
14/10	9	18	14	13	5	73.	27
16/10	1	2	1	1	1	1	69.

(1) Les nombres suivis d'un point ont trait aux déviations fournies par les cohéreurs en circuit fermé.

3° Si l'on dispose en circuit fermé plus d'un cohéreur (deux ou trois), *les cohéreurs disposés en circuit fermé deviennent plus sensibles que ceux laissés en circuit ouvert*, ainsi que le montre le tableau suivant.

Cohéreurs	Déviations observées après cohésions					
	en circuit ouvert	deux ou trois des cohéreurs (1) étant en circuit fermé				
8/10	53	80.	68	26	61.	51
9/10	59	58.	17	91.	14	67.
10/10	1	1	89.	2	1	88.
12/10	17	19	19	16	88.	14
14/10	9	18	20	14	69.	23
16/10	1	3	80.	84.	8	80.

4° Si l'on réunit ensemble toutes les électrodes libres des six cohéreurs *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, entre elles, et qu'on place le faisceau ainsi formé en circuit fermé, *on peut très simplement et très rapidement obtenir ainsi l'ordre de sensibilité des six cohéreurs étudiés.*

Pour cela, on cohère par une émission d'ondes produites à une distance telle qu'un seul ou deux cohéreurs se trouvent cohérés. — Ceci fait, on supprime le ou les deux cohéreurs ainsi cohérés et l'on cherche, par une nouvelle émission d'ondes produite à la même distance, à provoquer la cohésion des cohéreurs restants. On obtient alors en général la cohésion d'un ou de deux autres cohéreurs, que l'on supprime encore, et l'on cherche enfin par une troisième émission d'ondes à cohérer les cohéreurs restants.

Le tableau suivant indique, pour deux séries différentes de six cohéreurs, le résultat de cette opération.

Cohéreurs	Déviations				Cohéreurs	Déviations		
8/10	65	+	+	+	17/10	20	+	+
9/10	3	5	35	+	18/10	2	13	+
10/10	1	62	+	+	19/10	1	1	3
12/10	5	5	8	40	20/10	2	2	24
14/10	10	7	32	+	21/10	30	+	+
16/10	26	1	1	2	22/10	1	1	19

Le signe + indique que les cohéreurs ont été supprimés.

D'après ce tableau, on voit que l'ordre de sensibilité des cohéreurs

(1) Les nombres suivis d'un point ont trait aux déviations fournies par les cohéreurs en circuit fermé.

de la première série est le suivant :

8/10	10/10	9/10	14/10	12/10	16/10

Celui des cohéreurs de la seconde série est :

21/10	17/10	18/10	20/10	22/10	19/10

On voit donc, ainsi que nous l'indiquions précédemment, que cet ordre n'est pas toujours celui des écartements des électrodes.

Ce procédé de détermination des sensibilités relatives de plusieurs cohéreurs associés, qui est une application immédiate des particularités que présente le fonctionnement des cohéreurs en circuit ouvert et en circuit fermé, nous a permis de graduer à l'avance une série de cohéreurs destinés à suivre la marche des orages qu'ils décèlent.

5° *La sensibilité relative que présente chaque cohéreur, qu'il soit en circuit fermé ou en circuit ouvert, est à peu près la même lorsqu'il est placé seul* sur la planchette servant à les réunir *que lorsqu'il se trouve entouré des cinq autres cohéreurs voisins.* Toutefois les nombres trouvés sont un peu plus forts, toutes choses égales d'ailleurs, lorsque le cohéreur est seul que lorsqu'il est accompagné de ses cinq voisins.

III. Cohéreurs associés en série. — L'usage de godets de mercure et de fils souples permet d'associer les cohéreurs en série,

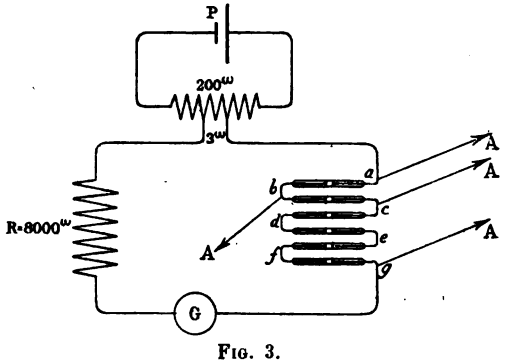


Fig. 3.

comme l'indique la *fig.* 3. On peut faire usage comme collecteur des ondes d'une série de quatre antennes identiques (longueur 60 centimètres). Ces antennes sont réunies soit toutes quatre au même point du circuit formé par la suite des cohéreurs, soit chacune d'elles

en un point différent du circuit, l'une en *a* par exemple, la 2e en *b*, la 3e en *c*, la 4e en *g*, ou bien différemment. — Pour connaître l'état de cohésion de chaque cohéreur après une émission d'ondes, on dispose, à l'aide de ponts de longueurs convenables, le cohéreur en question de manière à le placer seul dans le circuit comprenant la pile shuntée, la résistance R de 8000ω et le galvanomètre.

Les résultats des observations faites sont les suivants :

1° *La sensibilité que présentent les six cohéreurs associés en série est à peu près la même, que le circuit qu'ils forment soit ouvert ou qu'il soit fermé.*

2° *Lorsque l'antenne est fixée en un point du circuit* (*c* par exemple) *entre deux cohéreurs* (9/10 et 10/10 par exemple), *ces deux cohéreurs acquièrent par là même une sensibilité plus grande.*

Si l'antenne est placée à l'extrémité de la chaîne des cohéreurs (en *a* ou en *g*), la sensibilité du cohéreur voisin (8/10 ou 16/10) se trouve accrue.

3° *Si l'antenne est constituée par 4 fils parallèles égaux reliés entre eux, à leurs extrémités, avec un point du circuit des cohéreurs, la sensibilité de l'ensemble des cohéreurs ne se trouve que légèrement accrue.*

4° *Si chacune des quatre antennes est reliée à un point différent du circuit, de manière à disposer une antenne entre chaque cohéreur, la sensibilité du dispositif se trouve très notablement accrue.*

Le tableau suivant fournit des mesures en concordance avec ces divers énoncés.

Extrémités des cohéreurs	Cohéreurs	Déviations obtenues ; Antenne en : *e* circuit ouvert	*e* circuit fermé	*b*	*d*	*g*	*a, c, d, e*
a	8/10	21	16	56	36	33	55
b	9/10	14	13	45	7	2	13
c	10/10	0	0	0	52	0	37
d	12/10	40	36	6	40	11	20
e	14/10	46	44	29	21	27	17
f	16/10	1	1	1	1	45	16
g							

IV. Association mixte des cohéreurs. — La plus grande sensibilité que l'on puisse obtenir avec six cohéreurs donnés semble être celle du dispositif qui consiste à *réunir les cohéreurs deux à deux en série, chaque couple de deux cohéreurs formant une dérivation,*

comme le montre la *fig.* 4. — Les antennes, au nombre de trois, sont reliées en *a*, *b*, *c*, au milieu de chaque groupe de deux cohéreurs. — On obtiendrait une sensibilité encore plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, en plaçant six autres antennes en *a'* et *a''*, *b'* et *b''*, *c'* et *c''*.

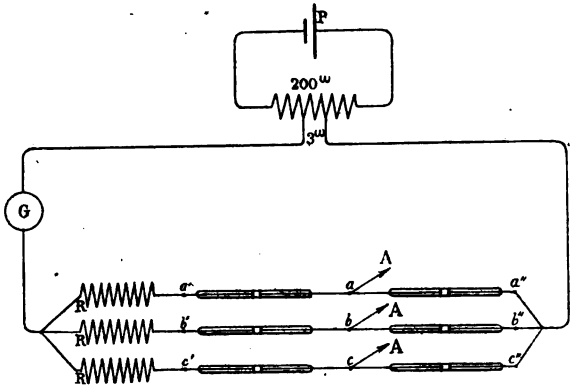


Fig. 4.

Les trois circuits dérivés sont tous trois fermés et comprennent chacun une résistance R.

Conclusions et applications. — Le fait particulier qui se dégage de toute cette étude est la bien plus grande sensibilité que présente un cohéreur, toutes choses égales d'ailleurs, lorsqu'il est en circuit fermé que lorsqu'il est en circuit ouvert.

En utilisant convenablement ce fait expérimental dans le cas de plusieurs cohéreurs associés, on peut en particulier l'appliquer :

1° *A la détermination commode et rapide de l'ordre de sensibilité de plusieurs cohéreurs associés en dérivation. Cette détermination a son application immédiate dans la constitution de dispositifs permettant de suivre la marche des orages;*

2° *A la réalisation de dispositifs très sensibles formés de cohéreurs associés en série ou d'une façon mixte et convenablement reliés à un certain nombre d'antennes. — Ces dispositifs semblent pouvoir être utilisés avec succès, tant en télégraphie sans fil qu'en télégraphie hertzienne avec conducteurs.*

Du rôle des corpuscules dans la formation de la colonne anodique. Loi générale de la magnétofriction ;

Par M. H. Pellat [1].

I

Il existe une différence d'aspect très grande entre la gaine cathodique et la colonne anodique des tubes de Geissler; parfois même, comme dans le cas de l'azote, la couleur n'est pas la même. On s'accorde pour considérer la gaine cathodique comme due à la luminescence provoquée par le choc sur le gaz des corpuscules s'échappant de la cathode; aussi, peut-être par raison de symétrie, a-t-on pensé que la colonne anodique était due à la luminescence provoquée par le choc sur le gaz des ions positifs, d'autant plus que cette colonne a l'air de s'échapper de l'anode. Pourtant J.-J. Thomson, dans son explication des stries [2], a considéré la colonne anodique, elle aussi, comme due au choc des corpuscules, la luminescence accompagnant l'ionisation qui en résulterait.

On peut trancher cette question par l'expérience. Si l'on place un tube de Geissler, de forme cylindrique, perpendiculairement aux lignes de force d'un champ magnétique assez peu intense pour que les phénomènes de magnétofriction [3] soient insensibles, il se produit le phénomène bien connu de la déviation du faisceau anodique. La forme de ce faisceau dévié permet de décider si la luminescence du gaz suit la trajectoire que la théorie assigne à la marche des corpuscules ou à celle des ions positifs, ou encore participe de l'une ou de l'autre.

Supposons, en effet, que le champ magnétique soit uniforme entre deux plans AA et BB (*fig.* 1, 2 et 3) normaux à l'axe du tube, et soit nul en dehors de ceux-ci, les lignes de force de ce champ étant horizontales et perpendiculaires aux lignes de force du champ électrique, qui sont parallèles à l'axe du tube. Dans ces conditions, les lois de l'électromagnétisme permettent de voir qu'une particule électrisée, supposée seule, décrira, dans la partie commune aux deux champs, une cycloïde dont le cercle générateur roule, dans un plan

(1) Séance du 4 mars 1904.
(2) J.-J. Thomson, *Phil. Mag.*, 5e série, L, p. 282; 1900.
(3) H. Pellat, *J. de Phys.*, 4e série, t. II, p. 241; 1903.

passant par la direction des lignes de force du champ électrique perpendiculairement au champ magnétique (plan de la figure), sur une perpendiculaire aux lignes de force de l'un et l'autre champ (verticale dans le cas de la figure), jusqu'à ce qu'elle rencontre la paroi du tube le long de laquelle elle glissera sous l'influence du champ électrique, ou jusqu'à ce qu'elle sorte de l'intervalle AA, BB[1].

---

[1] Voici ce calcul tel que je l'avais fait avant de savoir qu'il avait déjà été indiqué auparavant par J.-J. Thomson pour un tout autre objet.

En assimilant un courant à une file de particules de même charge e se suivant avec une vitesse commune v, les lois de l'électromagnétisme conduisent aisément à voir qu'une de ces particules, en se déplaçant perpendiculairement aux lignes de force d'un champ magnétique d'intensité H, est soumise à une force normale au plan déterminé par la direction de son déplacement et par celle du champ, dirigée à la gauche d'un observateur regardant dans le sens de ce champ et tel que le déplacement aille de ses pieds à sa tête si la charge est positive, vers la droite de cet observateur si la charge est négative, l'intensité de cette force étant donnée par $f = evH$.

Soient OX et OY deux axes de coordonnées rectangulaires, le premier dans la direction et le sens du champ électrique, le second perpendiculaire à la fois aux lignes de force des deux champs. Désignons par x et y les coordonnées au temps t d'un point électrisé de masse M et de charge électrique e animé d'une vitesse dans le plan XOY. D'après ce qui vient d'être exposé, ce point est soumis de la part du champ magnétique, supposé dans le sens d'avant en arrière, à une force dont les composantes suivant OX et OY sont respectivement

$$-eH\frac{dy}{dt} \qquad \text{et} \qquad eH\frac{dx}{dt};$$

en y joignant la force $e\varphi$ due au champ électrique d'intensité φ, dirigée parallèlement à OX, on obtient pour les équations du mouvement les deux relations

$$(1) \qquad M\frac{d^2x}{dt^2} = e\varphi - eH\frac{dy}{dt}, \qquad M\frac{d^2y}{dt^2} = eH\frac{dx}{dt}$$

ou, en posant, pour abréger l'écriture :

$$(2) \qquad a = \frac{e}{M},$$

$$(3) \qquad \frac{d^2x}{dt^2} = a\varphi - aH\frac{dy}{dt}, \qquad \frac{d^2y}{dt^2} = aH\frac{dx}{dt},$$

e et a étant positifs si le point est électrisé positivement, négatifs dans le cas contraire. De ces deux relations on déduit :

$$(4) \qquad \frac{d^3x}{dt^3} + a^2H^2\frac{dx}{dt} = 0.$$

Cette équation a pour intégrale générale :

$$(5) \qquad x = A\sin(aHt + \alpha) + B,$$

où A, B et α sont trois constantes d'intégration. On tire de (5) et de la première des relations (3) :

$$(6) \qquad \frac{dy}{dt} = \frac{\varphi}{H} + AaH\sin(aHt + \alpha),$$

Le rayon du cercle générateur de la cycloïde est donné par $\frac{M\varphi}{eH^2}$, où M est la masse de la particule électrisée, e sa charge électrique, φ et H les intensités du champ électrique et du champ magnétique. Or, suivant que nous considérons un corpuscule négatif ou un ion positif, le quotient $\frac{M}{e}$ est extrêmement différent, étant au moins

---

qui donne par l'intégration :

$$(7) \qquad y = \frac{\varphi}{H}\, t - A \cos(aHt + \alpha) + C,$$

où C est une nouvelle constante d'intégration. Les relations (5) et (7) sont en termes finis les équations du mouvement du point électrisé.

Si nous posons :

$$(8) \qquad \frac{3\pi}{2} + \omega = aHt + \alpha$$

et si nous déplaçons parallèlement à eux-mêmes les axes de coordonnées OX et OY de façon à donner des valeurs convenables aux termes constants dans les deux relations, celles-ci deviennent :

$$(9) \qquad x = A\,(1 - \cos\omega), \qquad y = \frac{\varphi}{aH^2}\,\omega - A \sin\omega.$$

On reconnaît là les équations d'une cycloïde déformée engendrée par un point du plan d'un cercle de rayon $\frac{\varphi}{aH^2}$ roulant sur une parallèle à OY. En nous donnant la vitesse V du point électrisé, quand celle-ci est parallèle au champ électrique, nous pouvons exprimer A. En effet, on tire alors de (9) en tenant compte de (8) :

$$(10) \qquad V = AaH \sin\omega_0, \qquad 0 = \frac{\varphi}{H} - AaH \cos\omega_0,$$

d'où :

$$(11) \qquad A^2a^2H^2 = V^2 + \frac{\varphi^2}{H^2} \qquad \text{ou} \qquad A = \frac{\sqrt{\varphi^2 + V^2H^2}}{aH^2}.$$

Pour l'étude que j'ai en vue, le point électrisé étant un ion positif ou négatif se déplaçant dans un tube où la pression reste supérieure à un dixième de millimètre de mercure, la vitesse V est, d'après les travaux de M. Langevin (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 7e série, t. XXVIII, p. 433 ; 1903), de l'ordre de $10^{-5}\varphi$. Même avec des champs magnétiques de 400 unités C. G. S., qui sont les plus intenses que j'ai employés, le produit VH est ainsi de l'ordre de $0{,}004\varphi$, et son carré V^2H^2 tout à fait négligeable devant φ^2. Il en résulte que

$$A = \frac{\varphi}{aH^2} = \frac{M\varphi}{eH^2},$$

et que, dans le cas qui nous occupe, les équations de la trajectoire se réduisent à :

$$(12) \qquad x = \frac{M\varphi}{eH^2}\,(1 - \cos\omega), \qquad y = \frac{M\varphi}{eH^2}\,(\omega - \sin\omega),$$

c'est-à-dire que celle-ci est une cycloïde ordinaire.

2 000 fois plus grand dans le second cas que dans le premier ; ce qui fait que la trajectoire est toute différente.

Prenons, par exemple, les données d'une de mes expériences sur un tube à hydrogène : champ électrique $\varphi = 2,7 \times 10^9$ unités électromagnétiques C. G. S., champ magnétique $H = 394$ C. G. S. Le quotient $\frac{M}{e}$ pour un corpuscule étant, d'après les expériences de J.-J. Thomson, égal à $1,04 \times 10^{-7}$, le rayon du cercle générateur de la cycloïde a pour valeur $0^{cm},0018$, c'est-à-dire 2 centièmes de millimètre environ. La trajectoire se confond donc sensiblement avec la droite sur laquelle roule le cercle, qui est une perpendiculaire à l'axe du tube.

Au contraire, supposons un ion positif d'hydrogène. Même s'il n'entraîne avec lui que sa propre masse, celle-ci étant 2 000 fois celle du corpuscule, le rayon du cercle générateur de la cycloïde est 2 000 fois le précédent, c'est-à-dire $3^{cm},61$. Comme l'ion pénètre dans le champ magnétique avec une vitesse dans la direction de l'axe du tube, c'est une petite partie de la boucle d'une cycloïde que l'ion décrira dans la portion du tube soumis au champ magnétique, c'est par une courbe allongée que l'ion gagnera la paroi du tube sur laquelle il glissera ensuite dans le sens du champ électrique. *A fortiori* en sera-t-il ainsi si nous considérons l'ion positif d'oxygène, 16 fois plus massif que celui d'hydrogène, auquel correspond un rayon 16 fois plus grand (58 centimètres) du cercle générateur de la cycloïde, ou si nous admettons, avec M. Rutherford et M. Langevin, que l'ion peut avoir sa masse augmentée par l'entraînement d'un certain nombre de molécules non dissociées. Les *fig.* 1, 2 et 3 représentent, par un trait en pointillé, la trajectoire d'un ion seul dans le tube, qui raserait la partie inférieure de celui-ci avant de pénétrer dans le champ magnétique.

Mais, dans un tube de Geissler, il n'y a pas qu'un seul ion qui se déplace, et nous devons nous occuper de la modification qu'apporteront dans l'ensemble des trajectoires les actions mutuelles des ions. Ces actions produisent, en l'absence du champ magnétique, un éparpillement : les ions tendent à remplir toute la section du tube, et la remplissent effectivement si ce n'est tout près de l'anode. Ces actions mutuelles dans la partie soumise au champ magnétique auront pour effet d'empêcher que le faisceau anodique ne se réduise à une ligne dénuée d'épaisseur le long de la paroi du tube : au lieu d'atteindre

tous le verre les ions se trouveront canalisés à l'intérieur d'un cylindre parallèle au tube et le touchant. En tenant compte de l'effet très évident de l'action mutuelle des ions, on voit que la partie occupée par l'ensemble de ceux qui sont de même nature dans le champ magnétique uniforme, limité brusquement à droite et à gauche par les plans AA et BB (*fig.* 1, 2 et 3), présentera les aspects indiqués par la partie ombrée sur les trois figures, suivant qu'on a affaire soit à des corpuscules, soit à des ions positifs d'hydrogène ou d'oxygène n'entraînant que leur propre masse[1]. Ainsi il y a une différence du tout au tout entre la forme que doit prendre l'ensemble des corpuscules ou l'ensemble des ions positifs dans le champ magnétique.

Mais il y a une manière encore plus simple de trouver si la luminescence qui forme la colonne anodique suit la trajectoire des ions positifs ou celle des corpuscules; elle a l'avantage de ne reposer sur aucun calcul et par là d'être de toute évidence. En vertu de l'action mutuelle des ions, le faisceau doit remplir toute la section du tube jusqu'à l'endroit où il entre dans le champ magnétique : *à l'entrée dans le champ il ne peut gagner la paroi du tube que par une courbe située à l'intérieur du champ.* Si le faisceau a gagné la paroi, il restera appliqué contre celle-ci tant qu'il sera à l'intérieur du champ magnétique : *à la sortie du champ la courbe par laquelle il s'épanouira de nouveau dans toute la section du tube doit donc se trouver à l'extérieur du champ.* Il y a ainsi un moyen des plus nets de savoir de quel côté se trouve l'entrée des particules électrisées dans le champ magnétique et de quel côté se trouve leur sortie. Or, les ions positifs, suivant le sens du champ électrique, entrent dans le champ magnétique du côté de l'anode et en sortent du côté de la cathode, tandis que c'est l'inverse pour les corpuscules, qui, étant chargés négativement, vont de la cathode à l'anode. C'est ce qui est indiqué sur les figures théoriques 1, 2 et 3.

II

J'ai réalisé un champ magnétique sensiblement uniforme sur un tronçon AB de mes longs tubes de Geissler, avec champ sensible-

(1) Remarquons que, pour les pressions des tubes mis en expérience, le libre parcours moyen des corpuscules entre deux chocs successifs est d'environ 4 mm. Comme chaque boucle de cycloïde occupe une longueur $0{,}018 \times 2\pi = 0^{mm},11$, il y a environ une quarantaine de boucles décrites entre deux chocs successifs des corpuscules dans une direction perpendiculaire à l'axe du tube.

ment nul en dehors du tronçon AB, en plaçant le tube perpendiculairement à l'axe d'une longue bobine de 7 centimètres de diamètre coupée en son milieu pour laisser passer le tube (de $1^{cm},7$ de diamètre). L'épaisseur des deux couches de fil qui la recouvraient était de 4 millimètres. Le nombre de tours de fil par centimètre était 10,8 pour l'ensemble des deux couches; l'intensité du champ magnétique était calculée par la relation $H = 4\pi \times 10,8 \times i$, d'après la mesure de l'intensité i du courant.

De cette façon, si l'on ne réalisait pas rigoureusement une entrée brusque d'une portion du tube dans un champ uniforme, on la réalisait à peu près : dans l'espace de moins d'un centimètre, le faisceau anodique passait d'un champ magnétique sensiblement nul à un champ sensiblement uniforme ayant des valeurs pouvant atteindre 400 unités (1).

L'effet d'une transition qui n'est pas brusque, entre la partie soumise au champ magnétique et celle qui y est soustraite, est évidemment d'allonger un peu la trajectoire des ions suivant l'axe du tube. Nous devrons en tenir compte dans la comparaison des résultats de la théorie avec l'expérience.

Il était difficile d'évaluer exactement l'intensité maximum du champ électrique, celle qui existe au moment de l'illumination; d'autant plus que, dans les régions à stries nettes, ce champ n'est probablement pas uniforme. Mais, d'une part, les stries étaient peu nettes vers le milieu des tubes; d'autre part, une erreur même du simple au double n'aurait que peu d'influence pour le but de mes expériences. Aussi me suis-je borné à mesurer, au moyen d'un micromètre à étincelles, la longueur de l'étincelle équivalente dans l'air à la décharge dans le tube. De cette distance explosive, je déduisais la différence de potentiel des électrodes au moment de la décharge; comme le tube avait une forme cylindrique très allongée, on pouvait admettre, sans grande erreur, que la chute de potentiel y était linéaire, et qu'on obtenait l'intensité du champ en divisant la différence de potentiel des électrodes par leur distance (86 centimètres) (2).

---

(1) Pour de pareils champs, il fallait employer des courants de 30 ampères; mais, comme l'expérience ne durait que quelques secondes, les fils ne chauffaient pas trop fort.

(2) Pour le degré de raréfaction des tubes employés, la chute de potentiel à la cathode était de 200 à 300 volts. Cette quantité est négligeable, au degré de précision désiré, devant les 2300 volts, ou plus, observés entre les électrodes.

C'est d'après ces données qu'ont été construites les courbes (*fig.* 1, 2 et 3) pour la trajectoire des ions négatifs ou positifs. En comparant à ces courbes théoriques les photographies (*fig.* 4 et 5) du faisceau anodique placé dans les conditions de champs indiquées, aucun doute ne peut subsister : la forme du faisceau est exactement celle

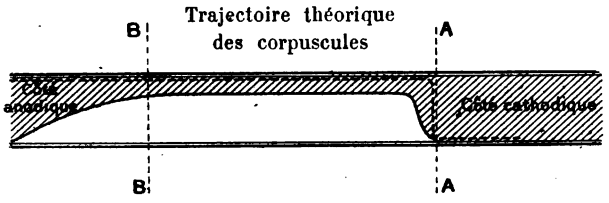


Fig. 1.

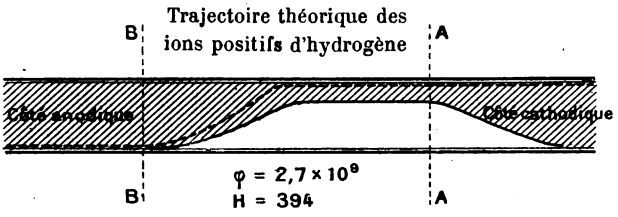


Fig. 2.

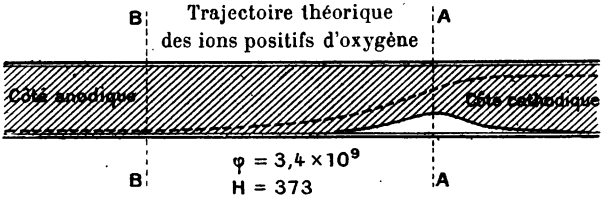


Fig. 3.

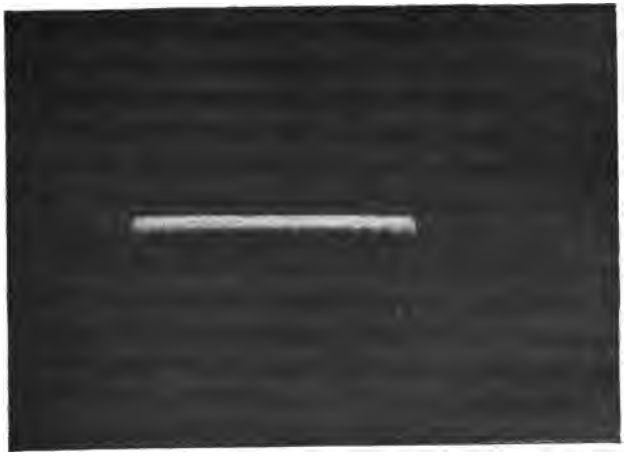
que la théorie assigne à la marche des corpuscules (*fig.* 1)[1], et n'a aucun rapport avec celle que la théorie indique pour la marche des ions positifs (*fig.* 2 et 3).

---

[1] La partie nébuleuse que la photographie du tube à hydrogène présente à l'entrée du champ magnétique du côté d'où viennent les corpuscules me paraît tenir à un commencement de magnétofriction. Cette nébulosité n'existe pas sur les photographies du même tube faites pour des champs magnétiques plus faibles. On n'en voit pas trace non plus sur la photographie du tube à oxygène. Ce gaz, comme je l'ai montré, ne subit l'effet de la magnétofriction que pour des champs magnétiques beaucoup plus intenses que l'hydrogène.

L'axe de l'appareil photographique coïncidait avec l'axe de la

Tube à hydrogène
$\varphi = 2{,}7 \times 10^9$
$H = 394$
FIG. 4.



Tube à oxygène
$\varphi = 3{,}4 \times 10^9$
$H = 373$
FIG. 5.

bobine produisant le champ; aussi les parois de celle-ci ont-elles

empêché de se dessiner sur la plaque ce qui se passait en dehors de la bobine. Du côté de la cathode, le tube avait le même aspect jusqu'à l'entrée à l'intérieur de la bobine que si celle-ci n'existait pas. Ceci montre bien qu'en dehors de la bobine le champ était pratiquement nul. Mais le faisceau, resserré contre la paroi du tube à l'intérieur de la bobine, à l'extérieur du côté anodique s'élargissait; par une courbe limitant un de ses bords il gagnait la paroi opposée, et dès lors remplissait toute la section du tube. La sortie du champ magnétique était donc du côté de l'anode : la luminescence se produit sur le parcours de particules chargées négativement.

En résumé, l'illumination du gaz désignée sous le nom de colonne anodique suit la trajectoire des corpuscules et non la trajectoire des ions positifs. Il est donc légitime de conclure de là que ce sont les corpuscules qui, par leur choc contre les molécules du gaz, donnent lieu à cette luminescence.

III

Dans l'étude que j'ai faite des phénomènes de magnétofriction [1], j'ai trouvé que le flux cathodique des tubes de Crookes, la gaine cathodique des tubes de Geissler, ainsi que la colonne anodique de ces mêmes tubes, obéissent à des lois semblables. D'après ce qui précède, cette similitude devient toute naturelle, puisque la colonne anodique, elle aussi, est due au mouvement des corpuscules, comme on le savait déjà pour la gaine et le flux cathodique. Ainsi la magnétofriction apparaît comme une des propriétés fondamentales des corpuscules en mouvement, et l'on peut résumer les faits de la manière suivante :

Dans un champ magnétique intense, les corpuscules en mouvement (rayons cathodiques) *subissent une action analogue à un frottement anisotrope considérable dans le sens perpendiculaire aux lignes de force et nul ou presque nul dans le sens de ces lignes.*

Les différences qui se produisent pour l'intensité du champ magnétique, donnant une même apparence à la colonne anodique selon la nature ou la pression du gaz, peuvent s'expliquer par les obstacles que celui-ci fait éprouver au mouvement des corpuscules et les variations de vitesse qui en résultent.

---

[1] *Loc. cit.*

Différents régimes de l'étincelle fractionnée par soufflage;

Par MM. J. Lemoine et L. Chapeau [1].

L'étude des étincelles ou de l'arc jaillissant entre électrodes métalliques est actuellement poursuivie par de nombreux savants en vue d'applications industrielles [2] ou thérapeutiques [3]. L'intérêt de cette question nous engage à publier quelques observations qui peuvent fournir une contribution à son étude.

Pour produire des étincelles, le circuit secondaire d'un transformateur à haut voltage a pour pôles deux sphères en laiton de diamètres compris entre 1 et 3 centimètres, écartées à une distance voisine de $0^{cm},5$. Une capacité est placée en dérivation sur l'étincelle qu'un courant d'air achève de fractionner.

Quand l'appareil fonctionne pendant plusieurs heures, la décharge change de caractère par suite de l'altération des électrodes. Il se produit principalement *deux régimes* nettement distincts, caractérisés surtout par le nombre des étincelles par alternance et la valeur du potentiel explosif.

Premier régime. — Les boules ayant été soigneusement polies, on met l'appareil en marche. Après une mise en train qui dure quelques minutes, les étincelles paraissent former un faisceau cylindrique très lumineux de 4 à 5 millimètres de diamètre (*fig.* 1). Il se produit un crépitement caractéristique. Les boules s'oxydent et se couvrent de piqûres innombrables dans une étendue de quelques millimètres carrés, sur laquelle se déplacent les points d'attache des étincelles.

La photographie au miroir tournant donne des paquets (*fig.* 2) qui correspondent aux alternances successives du courant. Les étincelles sont distribuées irrégulièrement dans un même paquet, et chacune d'elles suit un chemin sinueux. Le nombre des étincelles de chaque paquet est à peu près invariable. On en compte 36 sur la figure. L'irrégularité de la distribution des étincelles tient à la variabilité du point d'attache. Si, en effet, on photographie une fente

---

(1) Séance du 4 mars 1904.
(2) De Kowalsky, *Bull. de la Soc. int. des Électriciens*, 2e série, t. III, p. 314.
(3) D'Arsonval, *Comptes Rendus*, t. CXXXVIII, 1904, p. 323.

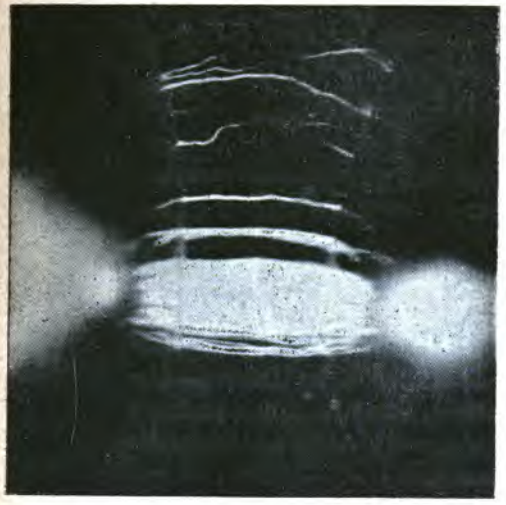


Fig. 1.

Fig. 3.

Fig. 2.

Fig. 4.

Fig. 5.

immobile éclairée par ces étincelles, on constate que les images de la fente deviennent équidistantes.

La différence de potentiel efficace entre les électrodes, mesurée à l'électromètre plan, a une valeur fixe, 10 000 volts par exemple.

Second régime. — Après quelques heures de marche à ce premier régime, le phénomène change d'une manière assez brusque. Le bruit devient un sifflement très différent du crépitement du premier régime. L'étincelle est un trait lumineux blanc rectiligne (*fig.* 3).

Le miroir tournant donne des paquets dans lesquels le nombre des étincelles est beaucoup plus grand que dans le premier régime (*fig.* 4), parfois le double. Les étincelles sont presque rectilignes et distribuées régulièrement dans chaque paquet.

Le potentiel efficace est plus faible que dans le premier régime. Il tombe, par exemple, de 10 000 volts à 7 000 volts.

Il est facile de trouver la cause du phénomène. Si l'on examine les boules, on constate que, sur chacune d'elles, l'une des piqûres s'est accentuée pour devenir un trou profond $\left(\frac{1}{10}\text{ de millimètre}\right)$ recouvert d'un monticule conique d'oxyde servant seul de point de départ à l'étincelle. Si l'on polit légèrement les boules ou si l'on fait simplement tomber l'oxyde, le premier régime se rétablit. Le second régime ne persiste pas toujours indéfiniment; le petit monticule d'oxyde peut se détacher seul, et il y a encore retour au premier régime.

Influence de la nature du métal. — Après le laiton, nous avons essayé le cuivre rouge, le zinc, le fer, l'aluminium. Les deux régimes ne se produisent pas avec la même facilité pour ces différents métaux, probablement parce que l'oxydation ne se fait pas de la même façon.

Le résultat le plus intéressant est obtenu avec l'aluminium : il donne immédiatement et indéfiniment le second régime.

En associant une électrode en aluminium avec une électrode polie en cuivre, on obtient les deux régimes mélangés : les alternances d'une même parité donnent le premier régime; l'autre parité fournit le second régime (*fig.* 5).

Conclusions. — L'oxydation spontanée du laiton provoque des étincelles plus nombreuses et correspondant à un potentiel explosif plus faible qu'avec des boules polies. L'aluminium ne peut fonctionner que comme le laiton oxydé.

Sur l'épaisseur critique des solides et des liquides réduits en lames très minces;

Par M. Henri Devaux [1].

Limite d'extension des liquides sur l'eau. — Si l'on touche une surface d'eau libre, poudrée avec du talc, avec un fil capillaire portant une trace d'huile, cette huile s'étend en un cercle manifesté par l'écartement du talc. S'il y a peu d'huile, le cercle reste petit et entouré d'eau libre. Dans ce cas, la tension superficielle de l'eau du cercle, couverte d'huile, est identique à celle de l'eau libre qui l'environne. C'est là un fait absolument général, applicable à tous les corps susceptibles de s'étendre sur l'eau, *huiles*, *hydrocarbures*, *acides gras*, *savons*, etc. *Il y a toujours une limite à l'extension.*

Par un procédé indiqué ailleurs (procédé des liqueurs titrées) [2], j'ai mesuré les épaisseurs à la limite ou plutôt le poids de substance par centimètre carré :

Huile d'olive.....	$0,8$ à $1,2 \times 10^{-7}$	grammes par centimètre carré
Oléate de soude.....	1 à 2×10^{-9}	
Acide oléique.....	$0,4$ à 1×10^{-9}	

L'épaisseur limite ainsi mesurée pour l'huile est à peu près identique à celle trouvée par lord Rayleigh [3] comme épaisseur de la *couche inactive* de l'huile sur l'eau, c'est-à-dire ne diminuant pas la tension superficielle de l'eau. Elle est aussi très voisine de l'épaisseur minima des pellicules liquides sur mercure mesurée par K. Fischer [4]. Mais la minceur de la lame de savon et d'acide oléique dépasse tout ce qu'on aurait pu croire accessible à l'observation directe.

Variations de la tension superficielle avec l'épaisseur. — On sait que, si une surface d'eau bien nette est rétrécie ou élargie, la tension superficielle ne varie pas. Il n'en est pas de même si l'eau est couverte d'huile et qu'on la rétrécisse. A mesure que la surface diminue, c'est-à-dire que l'épaisseur d'huile augmente, on voit la tension su-

---

(1) Séance du 18 mars 1904.

(2) *Procès-Verbaux de la Soc. des Sc. phys. et nat. de Bordeaux*, séances du 19 novembre et du 3 décembre 1903.

(3) *Philosophical Magazine*, vol. XLVIII; 1899.

(4) *Wied. Ann.*, vol. LXVIII; 1899.

perficielle *diminuer;* mais cette action est faible jusqu'au voisinage de l'épaisseur de 1 μμ. Ce niveau est atteint par un faible rétrécissement pour l'huile ; il faut au contraire réduire la surface à $\frac{1}{100}$ ou $\frac{1}{200}$ pour l'acide oléique. Quand il est atteint, un changement remarquablement brusque se manifeste. Les moindres variations de l'épaisseur, entre 1 et 2 μμ, produisent des variations énormes de la tension superficielle. Vers 1 μμ d'huile sur l'eau, la tension est à peine inférieure à celle de l'eau pure ; vers 2 μμ, elle est à peine supérieure à celle de l'huile. Au delà de cette *dimension critique*, les accroissements d'épaisseur diminuent très peu la tension superficielle. *C'est donc dans une couche de 1 à 2 μμ que réside, presque tout entière, la tension superficielle des liquides, c'est-à-dire la propriété la plus caractéristique de l'un des états de la matière.* Ces faits avaient été établis pour l'huile d'olive par lord Rayleigh; mais ils semblent généraux.

Lames minces solides. — On obtient aussi facilement des lames minces solides que des lames liquides. En déposant par exemple sur l'eau une goutte, pas trop diluée, de *paraffine* ou de *spermaceti* dissous dans la benzine, la goutte s'étend, puis s'évapore, laissant une lame mince de la substance. Cette lame est solide tant que son épaisseur est assez grande. On le vérifie simplement en répandant une poudre à sa surface et soufflant. La poudre reste immobile. On reconnaît de cette manière, avec la plus grande facilité, que l'état solide se maintient encore pour des lames excessivement minces et tout à fait invisibles. Par l'emploi de solutions de plus en plus diluées, j'ai obtenu des lames encore *nettement solides*, qui n'avaient qu'*une épaisseur voisine de* 1 μμ. Toutefois, ici aussi, *il existe une limite infranchissable, c'est-à-dire une dimension critique de l'état solide.*

Il est remarquable que cette *dimension soit très voisine de la dimension critique observée pour les liquides.* Le tableau suivant, qui indique l'épaisseur critique pour l'huile et pour divers solides, est démonstratif à cet égard :

	Épaisseur critique de la lame mince	Diamètre calculé de la molécule
CuS	0,4 à 0,5 μμ	0,25 μμ
HgS	0,2 à 0,3 —	0,29 —
PbS	0,3 à 0,4 —	0,31 —
AgI	1,2 à 1,8 —	0,33 —
Acide stéarique	1,7 à 2 —	0,62 —
Spermaceti (palmitate de cétyle?)	1,5 à 1,7 —	0,78 —
Huile d'olive (supposée oléine pure)	0,9 à 1,3 —	0,94 —
Albumine	3,0 à 8,0 —	1,87 —
Stéarate d'alumine	1,25 μμ	1,15 —

La deuxième colonne de ce tableau donne les diamètres des molécules calculés d'après une formule de Nernst [1]. On voit que les lames minces étudiées ici étaient formées d'*une seule assise de molécules*, ou d'un très petit nombre d'assises. *La dimension critique ne serait donc autre chose que le diamètre même de la molécule, au moins pour certains corps, liquides ou solides.* Cette coïncidence remarquable entraîne comme corollaire immédiat que les molécules, dans ces lames minces, sont les molécules connues et non pas de grosses molécules.

La cause de l'état solide, au moins pour les substances étudiées ici, ne résiderait donc pas dans la grosseur de la molécule; elle est sans doute d'ordre uniquement cinétique.

On pourrait supposer que, par un amincissement suffisant, on obtiendrait une sorte de liquéfaction du solide. En réalité, c'est plutôt une pulvérisation, une dislocation qui se produit. Une goutte trop diluée d'une solution de paraffine ou de spermaceti abandonne la substance sous forme d'un voile *dépourvu de toute action sur la tension superficielle de l'eau.* Ce voile, parfaitement invisible du reste, se rétrécit sans aucun effort quand on souffle doucement sur la bordure du talc qui l'environne; puis, brusquement, quand le rétrécissement est suffisant, le talc est arrêté par une lame invisible à bords très nets contre lesquels il vient s'amasser. La couche mince solide est devenue continue, elle se montre rigide; on peut la fissurer, la casser en fragments anguleux qui flottent sur l'eau libre sans s'étendre. A aucun moment la substance n'a donc présenté les vrais caractères de l'état liquide; *il n'y a pas eu passage entre les deux états.*

---

[1] Nernst, *Theoretische Chemie*, 5e édition, 1900, pp. 394-395. — Valeurs numériques corrigées d'après L. Errera, *Limite de petitesse des organismes* (*Recueil de l'Institut botanique de l'Université de Bruxelles*, t. VI, 1903, p. 77).

Ces faits sont particulièrement nets sur les lames minces de paraffine, de spermaceti; ils le sont un peu moins pour celles d'acide stéarique, de mastic, etc., et surtout de colophane, qui montrent une certaine extensibilité spontanée à la limite. On peut se l'expliquer par l'existence d'impuretés liquides. Mais il semble certain aussi que diverses substances sont réellement douées d'une *puissance d'extension superficielle* analogue à l'extension d'une vapeur dans une enceinte, ou d'une substance dissoute dans son dissolvant.

Fluxmètre;

Par M. E. Grassot [1].

Cet appareil repose sur le principe d'une méthode galvanométrique indiquée par M. Féry (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 5 juin 1899). Il est constitué par un galvanomètre genre Deprez-d'Arsonval, dont le couple de torsion est très petit et par conséquent l'amortissement très grand. Si l'on relie ce galvanomètre à une force électromotrice faible, le cadre n'ayant aucun travail à produire se déplacera avec une vitesse telle qu'il engendrera une force contre-électromotrice opposée et presque égale à celle qui lui est appliquée; on aura donc, en appelant α le déplacement et E la force électromotrice aux bornes :

$$\frac{d\alpha}{dt} = KE, \qquad \alpha = K\int E dt.$$

La bobine, en se déplaçant dans le champ de l'appareil, produit un flux Φ également proportionnel à ce déplacement : $\alpha = K\Phi$. Le flux Φ engendré par le déplacement de la bobine est égal et opposé à $\int E dt$ appliqué aux bornes.

Si, au lieu de relier l'appareil à une force électromotrice, on le met en relation avec une bobine d'un nombre de tours déterminé placée dans un champ uniforme, une variation de ce champ se traduira par une variation de flux dans la bobine, c'est-à-dire par une

---

(1) Séance du 18 mars 1904.

force électromotrice $E = \frac{d\Phi}{dt}$. Lorsque la variation sera terminée, on aura produit aux bornes de l'appareil $\int E dt = \Phi$; nous voyons donc qu'une variation de flux dans la bobine extérieure à l'appareil correspond à une déviation déterminée de l'aiguille.

L'appareil réalisé par la « Compagnie pour la fabrication des compteurs », sous la forme de ces voltmètres ou ampèremètres ordinaires, est très robuste.

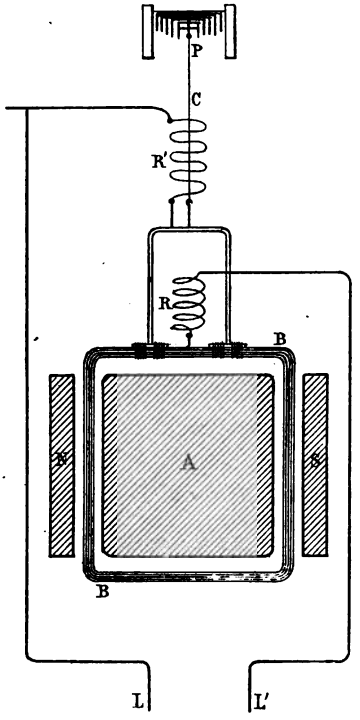


Fig. 1.

La bobine mobile B (*fig.* 1) est suspendue par un fil de cocon C à un ressort spiral P qui est destiné à amortir les chocs et à rendre le fil de cocon incassable ; le courant est amené à la bobine au moyen de deux spiraux cylindriques R, R′ en lame d'argent excessivement mince, et les branches verticales de la bobine se déplacent entre les

pôles d'un aimant NS et un noyau A qui forment un entrefer avec un champ d'environ 1 000 unités C. G. S. La bobine porte une aiguille qui se déplace sur un cadran divisé en centaines d'unités C. G. S. ; enfin l'aiguille est ramenée au zéro avec la bobine mécaniquement au moyen d'un bouton mû à la main.

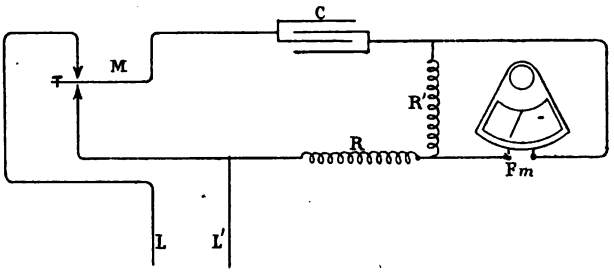


Fig. 2.

L'étalonnage de l'appareil peut se faire par les mêmes moyens que celui du balistique : par exemple, au moyen d'un condensateur en employant le montage ci-contre représenté par la *fig.* 2. — Un commutateur M permet de charger et de décharger un condensateur C sur une résistance R et une résistance R' aux bornes de laquelle est branché le fluxmètre. Si nous supposons une différence de potentiel E aux bornes de la ligne, le condensateur se chargera d'une quantité d'électricité égale à CE ; donc le courant qui aura traversé les résistances sera égal à :

$$\int I dt = CE,$$

et ce courant aura produit aux bornes de R' un nombre de volts-seconde égal à $R' \int I dt$ ou à R'CE ; de même, à la décharge, on aura aux bornes du fluxmètre un nombre de volts-seconde égal et de sens contraire qui ramènera l'aiguille à sa position initiale. Nous remarquons que la déviation dépend seulement et est proportionnelle à R', à E et à C et indépendante de R. L'expérience vérifie facilement ce fait, car on n'observe pas de différence sensible si on fait varier R de 0 à 1 mégohm.

Les applications du fluxmètre sont, d'une manière générale, celles

du balistique, avec cette différence que le balistique donne des indications proportionnelles à $\int I dt$, tandis que le fluxmètre donne les siennes proportionnelles à $\int E dt$. Il suffit donc, lorsqu'on veut mesurer $\int I dt$, de le brancher aux bornes d'une résistance sans self, qui doit être inférieure à 50 ohms, pour lui conserver un amortissement suffisant.

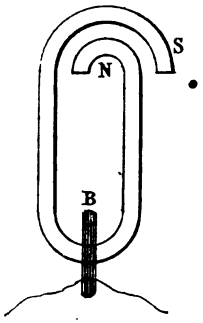


Fig. 3.

Voici quelques applications du fluxmètre pour lesquelles le balistique est d'un emploi difficile : soit à mesurer le flux total d'un aimant de forme NS (*fig.* 3). Pour le mesurer avec le balistique, il faudra introduire une bobine en B, puis la sortir de l'aimant assez rapidement pour que le temps employé soit négligeable relativement à celui d'une oscillation du galvanomètre ; ensuite il faudra répéter plusieurs fois l'expérience et chercher la position de la bobine qui donne le maximum. Avec le fluxmètre, l'opération est des plus simples ; il suffit d'introduire la bobine lentement sur l'aimant jusqu'à ce que la déviation passe par un maximum ; à chaque instant la déviation indique le flux qui traverse la bobine. On voit donc la position du point neutre ainsi que les anomalies qui pourraient exister dans l'aimantation.

Il est également facile avec le fluxmètre de mesurer les dérivations magnétiques des machines dynamos ; il suffit d'en approcher une bobine d'un nombre de tours et d'une surface connus pour avoir en chaque point de l'espace la valeur du champ. Ces mesures seraient difficiles avec un balistique.

Il est facile d'imaginer une disposition permettant de tracer directement les courbes d'hystérésis : en effet, supposons par exemple un tore du métal à essayer; sur ce tore enroulons quelques tours de fil dont les extrémités sont reliées à un fluxmètre; enroulons ensuite un deuxième enroulement d'un nombre de tours plus grand dans lequel circulera un courant magnétisant qui traversera également un ampèremètre; si l'axe de rotation de la bobine du fluxmètre est vertical et l'axe de l'ampèremètre horizontal et s'ils portent chacun un miroir, on pourra les orienter de telle façon qu'un point lumineux O (*fig.* 4) envoie un faisceau de lumière sur une lentille L

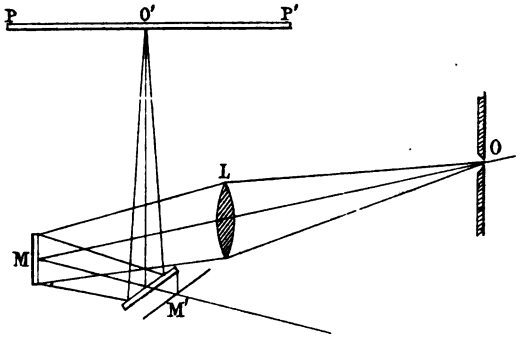


Fig. 4.

qui, après une première réflexion sur le miroir M, mobile autour d'un axe vertical situé dans le plan de la figure et porté par la bobine du fluxmètre, puis une deuxième réflexion sur un miroir M' mobile autour d'un axe horizontal perpendiculaire à la figure, viendra former l'image conjuguée du point lumineux sur une plaque photographique ou un verre dépoli PP'. Si, au moyen d'un rhéostat approprié, on fait varier le courant magnétisant du tore de + I à — I, le point lumineux décrira sur la plaque PP' une courbe dont les abscisses seront proportionnelles au courant magnétisant et les ordonnées proportionnelles au flux total qui parcourt le tore. On obtiendra donc la courbe d'hystérésis soit sur une plaque photographique, soit plus simplement sur une feuille de papier ordinaire en suivant avec un crayon la trace du point lumineux dans son déplacement.

En résumé, le fluxmètre remplace les galvanomètres balistiques en présentant sur ceux à cadre mobile l'avantage d'être indépen-

dant de la résistance du circuit, sur ceux à aimant mobile l'avantage de ne pas être influencé par les champs extérieurs, et sur les deux systèmes l'avantage d'être indéréglable, la lecture directe et de permettre de mesurer des variations lentes de flux.

Télescope pyrométrique;

Par M. Ch. Féry [1].

L'application de la loi de Stéfan à l'évaluation des hautes températures offre de grands avantages; elle permet en particulier d'évaluer par une extrapolation justifiée les températures supérieures au point de fusion du platine, dernier point déterminé avec quelque précision.

J'ai montré, dans une communication précédente [2], comment on pouvait baser sur ce principe un appareil pratique permettant de suivre la marche d'une opération industrielle ou de laboratoire.

Néanmoins, par sa forme même, la loi du rayonnement calorifique se prête mal à des mesures à basse température, le rayonnement diminuant très vite quand la température s'abaisse.

Dans le premier pyromètre que j'ai combiné, les rayons du four à mesurer étaient concentrés dans le plan focal d'une lunette, dont le réticule était remplacé par deux fils ou lames très minces formées par deux métaux différents. Le couple thermo-électrique ainsi réalisé a comme soudure chaude le point de croisement même des deux fils.

J'ai montré comment il est possible de rendre les indications indépendantes de la distance du corps chaud et de ses dimensions à partir d'une certaine valeur minima, déterminée par le fait que la soudure du couple doit être couverte par l'image du corps visé [3].

Les indications de ce pyromètre dans le modèle industriel courant s'étendent de 800° à 1 800°; mais, si la sensibilité énorme entre 1 700 et 1 800 permet d'apprécier la déviation galvanométrique avec assez de

---

(1) Séance du 18 mars 1904.

(2) *Bulletin des séances de la Société de Physique*, p. 12; 1903 (*Lunette pyrométrique pour la mesure des hautes températures*).

(3) *Comptes Rendus de l'Académie*, 28 avril 1902 (*la Loi de Stéfan et la Mesure des hautes températures*).

précision pour qu'une variation de 5° soit sensible, il n'en est plus de même entre 8 et 900°, où un écart de 25° n'est pas impossible.

Il faut se rappeler en effet que *la déviation* dans les appareils de ce genre croît comme *la quatrième puissance* de la température absolue du corps chaud.

Cette décroissance rapide de la sensibilité avec la température est encore aggravée du fait que le verre de la lentille objective de l'instrument présente son maximum d'absorption pour les rayons calorifiques obscurs.

Ce sont ces raisons qui m'ont fait rechercher, à la demande de quelques-uns des industriels utilisant mon pyromètre, un dispositif plus sensible d'abord, et surtout ne présentant que peu d'absorptions à basse température, c'est-à-dire au rouge naissant.

La solution m'a été fournie par l'emploi d'un miroir concave aux lieu et place de l'objectif de la lunette pyrométrique ordinaire.

Dans un télescope, en effet, la réflexion métallique n'introduit qu'une absorption tout à fait négligeable, si on la compare à celle due aux milieux transparents : vers 7 à 800°, un objectif en verre absorbe 70 0/0 de rayons qu'il est chargé de concentrer.

Mais l'emploi d'une argenture ou même d'une dorure superficielle est impossible dans un appareil s'adressant à l'industrie : la fumée, les vapeurs acides et l'air ordinaire lui-même sont autant de facteurs de détérioration. Quant au platinage, il n'y faut pas songer, ce métal ne se déposant bien sur le verre qu'à une température assez élevée pour déformer les surfaces sur lesquelles on veut l'appliquer.

Je me suis rappelé alors que, dans les corps transparents, la grosse perte de rayons transmis est surtout imputable à la réflexion de la première surface [1]. Cette réflexion intéresse surtout les radiations de grande longueur d'onde, qui sont totalement réfléchies (réflexion métallique), tandis que la perte n'est que de 7 ou 8 0/0 pour les longueurs d'ondes lumineuses.

Il m'a donc été facile de calculer un miroir *argenté au dos* et par conséquent tout à fait inaltérable, faisant converger à son foyer toutes les radiations réfléchies par ses deux surfaces; les rayons de courbure des deux surfaces sont d'ailleurs assez peu différents quand l'épaisseur est faible, condition qu'on a toujours intérêt à réaliser.

---

[1] Rubens et Archinass, *Sur les rayons restants du sel gemme et de la sylvine* (*J. de Phys.*, t. VI, p. 215; 1897; — et t. VII, p. 438; 1898).

Voici, à titre d'indication, les résultats que m'a fournis un télescope muni d'un miroir argenté au dos :

Température vulgaire	Millivolts donnés par le couple	Millivolts calculés par la loi de Stéphan	Différences
500	0,06	0,10	— 0,04
600	0,12	0,16	— 0,04
700	0,21	0,25	— 0,04
800	0,34	0,37	— 0,03
900	0,53	0,53	0
1000	0,77	0,74	+ 0,03
1100	1,00	1,00	0
1200	1,36	1,33	+ 0,03

On peut remarquer qu'à partir de 800° les différences entre les résultats obtenus et calculés sont tantôt positifs, tantôt négatifs et dus à l'erreur expérimentale inévitable. On a, pour calculer la troisième colonne, admis que l'absorption est nulle à 1100°.

En faisant la même hypothèse pour une cuvette pyrométrique à 1600°, dernier point de la graduation obtenu directement, la différence, bien que très faible à haute température entre la valeur calculée et celle obtenue directement, est toujours négative, montrant ainsi que, même vers 1600°, l'absorption du verre de l'objectif n'est pas tout à fait négligeable.

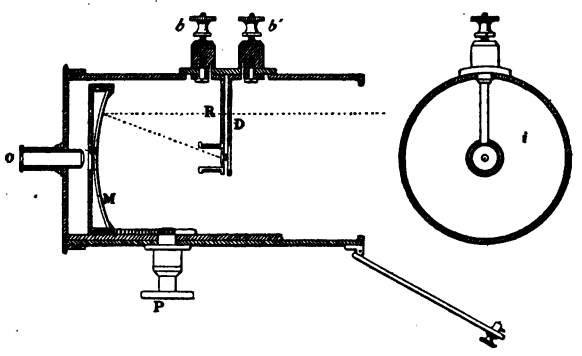


Fig. 1.

Pour des corps très transparents pour toutes les radiations, la fluorine, par exemple, que j'ai employée comme objectif de lunette pour certaines recherches théoriques, l'accord entre les résultats calculés et expérimentaux commence au-dessus de 900°.

Il me reste à indiquer les détails nouveaux d'exécution que présente cet appareil. En avant de la soudure placée au fond du petit tube RD contenant le couple sont disposés deux prismes de petit angle (*fig.* 1) en verre argenté ; ils sont collés par leurs bases, et un trou est ménagé au centre de la ligne de collage, pour permettre aux rayons calorifiques de tomber sur la soudure du couple.

Ces deux petits miroirs prismatiques reçoivent les rayons provenant des deux bords diamétraux du miroir concave et les renvoient à l'oculaire O.

Lorsque les rayons provenant du miroir concave tombent dans le plan des miroirs prismatiques, l'image observée à l'oculaire est unique ; elle est au contraire *dédoublée* ou, plus exactement, les images données par chacun des miroirs prismatiques ne coïncident pas si la mise au point n'est pas rigoureuse.

Cette mise au point ne laisse donc rien à l'arbitraire ; elle se fait avec la précision d'un pointé par une lunette à réticule, l'une des images servant effectivement de réticule par rapport à l'autre.

Le bord du tube qui contient le couple *diaphragme* le miroir objectif de manière à limiter à un angle constant, comme dans la lunette pyrométrique, le cône des rayons qui touche sur la soudure. Cet appareil donne donc, comme la lunette, des indications indépendantes de la dimension de la source et de sa distance, pourvu que l'image de cette dernière soit plus grande que l'ouverture qui met la soudure à découvert.

En somme, ce pyromètre étend la mesure des températures jusqu'à 500°, au moyen du rayonnement calorifique. Un seul galvanomètre portant deux graduations, l'une de 500 à 1200° et l'autre de 1000 à 1900°, permet ainsi l'exploration de toutes les températures industrielles ordinairement employées.

La maison Pellin s'est chargée de la construction de ces pyromètres.

Le photomètre Simmance-Abbady ;

Par M. Lauriol [1].

Les diverses méthodes photométriques comportent en général l'égalisation d'éclat de deux plages lumineuses juxtaposées, et éclairées chacune par l'une des deux sources à comparer. On sait quelles incertitudes comporte le procédé quand les deux lumières ne sont pas de même couleur.

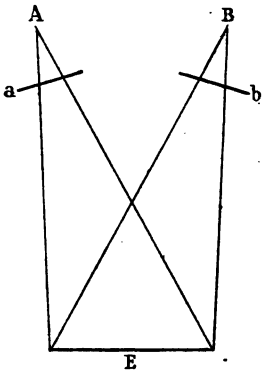


Fig. 1.

MM. Simmance et Abbady ont indiqué un autre procédé consistant à éclairer alternativement une même surface E (*fig.* 1) au moyen de deux sources A et B, par le jeu d'écrans mobiles *a* et *b* interceptant tour à tour les deux faisceaux lumineux. Avec une fréquence convenable des occultations (environ 3 par seconde), il se produit sur l'écran E un papillotement qui cesse lorsque les éclats dus aux deux sources considérées chacune séparément sont égaux. Suivant ce principe, nous n'avons jamais pu éteindre franchement le papillotement, ni même l'amener à un minimum tant soit peu net. Même avec deux sources identiques et également éloignées de E, il se produit des changements d'éclat au moment où les deux faisceaux sont partiellement coupés et où les sources dont les dimensions ne sont pas nulles sont partiellement occultées.

---

[1] Séance du 15 avril 1904.

Ces difficultés ont été levées par le deuxième dispositif : Soit (*fig.* 2) un prisme rectangulaire isocèle à arête vive, fait d'une substance blanche et mate, plâtre ou porcelaine, et pouvant osciller entre deux positions *abc*, *a'b'c'*. Deux faces sont éclairées chacune par une des deux sources A et B. A travers un trou αβ percé dans l'écran fixe E, nous regardons dans la direction MN. Nous apercevrons tour à tour la face éclairée par A et la face éclairée par B, et nous verrons un papillotement qui s'éteindra lorsqu'on aura par un éloignement convenable des sources égalisé les éclats.

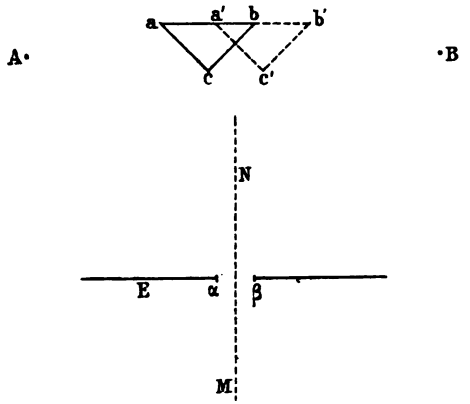


Fig. 2.

En fait, le dispositif est légèrement différent et le mouvement d'oscillation est remplacé par un mouvement de rotation continu. Soit (*fig.* 3) un cylindre plat dont l'axe *ab* est parallèle au banc photométrique ; traçons une section oblique tangente aux deux bases. En nous appuyant sur cette ligne, chanfreinons à 45° dans les deux sens les arêtes du disque ; nous obtenons ainsi deux surfaces à peu près coniques éclairées chacune par une des sources. Le disque tourne autour de *ab* pendant que nous regardons dans une direction fixe MN à travers l'ouverture αβ d'un écran fixe E. Nous apercevrons alternativement les surfaces éclairées par l'une ou l'autre des sources. On peut ainsi obtenir et faire cesser le papillotement par réglage de la distance entre les sources et le photomètre.

L'appareil étant entre nos mains depuis peu de temps, nous n'avons pu faire les diverses études qu'il comporte ; nous nous bornons à en

signaler le principe, qui nous a paru intéressant, et à résumer nos premières observations.

La rotation du disque est obtenue dans un mouvement d'horlogerie et se règle au moyen d'un frein. Ce système ne permet ni de bien régler ni de bien mesurer la vitesse, ni par conséquent de voir l'influence de cette vitesse sur les mesures. Il serait utile d'obvier à cet inconvénient, par exemple en employant un moteur électrique pour actionner le disque.

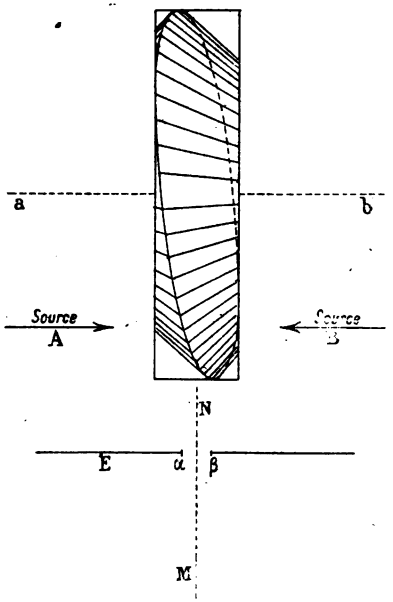


Fig. 3.

Avec deux sources de même couleur, *il semble* que la fatigue soit moins grande, la précision plus grande et la manœuvre plus rapide qu'avec les photomètres à plages juxtaposées.

Avec deux sources de couleurs différentes, on sait combien il est difficile d'apprécier l'égalité d'éclat de deux plages voisines, et combien la mesure dépend de l'intensité absolue de l'éclairement, de la fatigue de l'œil, etc. Avec le photomètre Simmance, la sensation de différence de couleur semble disparaître et le papillotement paraît dû à la seule différence d'éclat. Au lieu de la sensation complexe qu'on éprouve en présence de deux plages rouge et verte,

on n'a plus qu'une sensation simple. Malgré un intervalle de flou assez étendu autour de la position d'extinction (ou de minimum) du papillotement, il semble qu'on mesure dans une expérience donnée avec plus d'exactitude que par les autres procédés. Mais que mesure-t-on? Jusqu'à quel point les résultats dépendent-ils de l'éclairement absolu, de la vitesse du disque, des propriétés des yeux des divers observateurs, de la fatigue d'un même œil ? Jusqu'à quel point les résultats diffèrent-ils de ceux qu'on obtient avec d'autres photomètres? Autant de questions auxquelles il nous est impossible de répondre pour le moment.

Signalons enfin les troubles qui pourront se produire dans les mesures, si la lumière est produite par du courant électrique alternatif et si la durée d'un tour du disque vient à être à peu près égale à un sous-multiple de la durée d'une période du courant.

Sur un nouveau spectroscope autocollimateur;

Par MM. Ch. Fabry et A. Jobin [1].

L'emploi de l'autocollimation dans les spectroscopes donne lieu, avec quelques inconvénients, à des avantages bien connus, et d'ailleurs souvent utilisés. La dispersion, avec un même nombre de prismes, est doublée; un seul objectif sert pour le collimateur et la lunette; l'observateur, regardant à l'oculaire, trouve la fente à portée de sa main; l'appareil est bien plus compact et moins encombrant qu'un spectroscope à lunette et collimateur séparés; enfin on peut, par des déplacements convenables des prismes et du miroir, faire défiler le spectre dans le champ, sans déplacer le faisceau incident ni le faisceau émergent. Ces avantages sont obtenus au moyen d'une réflexion supplémentaire, ce qui fait perdre un peu de lumière, inconvénient négligeable dans beaucoup de cas.

Dispositif optique. — Notre appareil est disposé pour l'observation oculaire et pour l'observation photographique. La *fig.* 1, qui en est une coupe horizontale, permet d'en indiquer les principales dispositions.

---

[1] Séance du 15 avril 1904.

Les rayons lumineux, partis de la fente F, se réfléchissent sur le prisme à réflexion totale R, qui les renvoie sur l'objectif O. Le faisceau traverse alors les deux prismes dispersifs T_1, T_2, se réfléchit à peu près normalement sur le miroir M, traverse de nouveau les deux prismes et l'objectif, et vient former en S le spectre réel, que l'on peut examiner à travers l'oculaire, ou recevoir sur la plaque photogra-

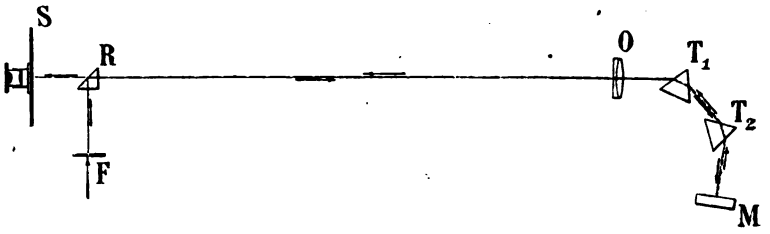


Fig. 1.

phique. Pour que le prisme R n'arrête pas le faisceau de retour, il est placé un peu au-dessus du plan de symétrie de l'appareil; le faisceau passe, à l'aller, un peu au-dessus de ce plan, et, au retour, un peu au-dessous.

L'objectif a 6 centimètres de diamètre et 1 mètre de distance focale. Les prismes ont des faces rectangulaires, de 4 centimètres de hauteur et 5 de large; leur angle est de 60°; ils sont en flint très dispersif, fourni par la maison Mantois. L'indice de ce verre est représenté, en fonction de la longueur d'onde, par la formule :

$$n = 1,6227 + \frac{0,00865}{\lambda^2} + \frac{0,0002}{\lambda^4},$$

n étant l'indice, et λ la longueur d'onde exprimée en microns.

Le miroir plan M, en verre argenté sur la face antérieure, a un diamètre de 6 centimètres.

Dispositif mécanique. — Il est rationnel que, pour la radiation qui se projette au milieu du champ, les prismes soient traversés au minimum de déviation. Si l'on veut faire passer successivement dans le champ les diverses parties du spectre, il faut que les prismes et le miroir subissent des déplacements tels que cette condition reste satisfaisante. Pour qu'il en soit ainsi, les mouvements de ces diverses pièces doivent être liés de la manière suivante : si, pour passer d'une radiation à une autre, on fait tourner le premier prisme d'un angle α, le

second prisme doit tourner d'un angle 3α, et le miroir d'un angle 4α.

Il faut de plus que ces rotations soient accompagnées de déplacements tels que les trois organes soient constamment centrés sur l'axe du faisceau ; en d'autres termes, il faut que, pour la radiation qui se projette au milieu du champ, le rayon provenant du milieu de la fente et qui a passé par le centre optique de l'objectif rencontre les faces

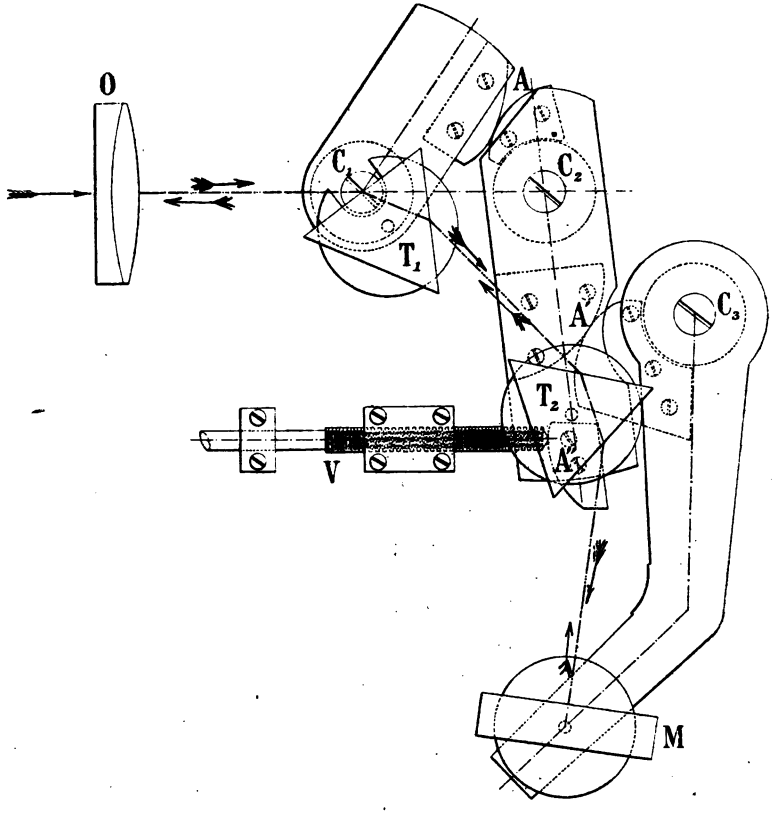


Fig. 2.

de prisme et le miroir en leurs milieux. On peut réaliser ces conditions, avec une approximation plus que suffisante, par de simples rotations des trois pièces autour de centres fixes convenablement choisis, les angles de rotation étant entre eux dans les rapports indiqués. Ces centres de rotation sont déterminés de la manière suivante :

Prenons deux radiations, r et r', aux deux extrémités du spectre ;

soient D et D′ les déviations minima correspondantes. Le premier prisme doit évidemment tourner autour du milieu de sa face d'entrée; le centre de rotation correspondant C_1 sera placé sur l'axe optique de l'objectif (*fig.* 2). On peut alors tracer sur l'épure les deux positions extrêmes du premier prisme, et les deux positions correspondantes du faisceau qui en émerge. Les deux positions extrêmes du second prisme peuvent être tracées de manière qu'il reçoive dans les deux cas tout le faisceau au minimum de déviation. Ces deux positions sont complètement déterminées en orientation, mais non en position, car pour chacune d'elles on peut sans inconvénient déplacer le prisme parallèlement à lui-même et parallèlement au faisceau qu'il doit recevoir. Ces deux positions étant choisies, on peut, d'une seule manière, passer de l'une à l'autre par une rotation autour d'un centre C_2. On trouvera de même le centre de rotation C_3 autour duquel doit tourner le miroir. La position des points C_2 et C_3 présente, ainsi qu'on vient de l'indiquer, une certaine indétermination ; parmi cette infinité de solutions, on a choisi celle qui a paru la plus commode pour la construction mécanique.

Il reste à relier les trois mobiles de telle manière que, tournant respectivement autour des centres C_1, C_2, C_3, leurs angles de rotation soient entre eux comme les nombres 1, 3, 4. La condition du minimum de déviation sera alors exactement satisfaite ; la position des trois pièces par rapport au faisceau sera rigoureusement correcte dans les deux positions extrêmes ; elle le sera avec une exactitude plus que suffisante pour les positions intermédiaires.

Les liaisons nécessaires pour que les rotations soient dans le rapport voulu sont obtenues au moyen de cames en développantes de cercle, tracées conformément à la théorie des engrenages. Chacune des pièces mobiles (prismes et miroir) est montée sur une plate-forme métallique, tournant autour du centre de rotation correspondant. C'est la plate-forme du second prisme qui mène les deux autres. La plate-forme du premier prisme, tournant autour de C_1, lui est liée par le système des cames A, qui transmet le mouvement de rotation en le réduisant dans le rapport de 1 à 3. Le miroir, tournant autour de C_3, est lié au mobile C_2 par le système de cames A′, qui amplifie la rotation dans le rapport de 4 à 3. Des ressorts, non représentés sur la figure, maintiennent les cames en prise. Quant au mobile C_2, dont les mouvements commandent tous les autres, il est conduit par une vis de butée V, qui appuie normalement sur un profil A″ en

développante de cercle. Cette vis est manœuvrée, par l'intermédiaire d'un joint à la Cardan, par une longue tige dont l'extrémité se trouve à portée de la main de l'observateur.

Les axes de rotation des plates-formes sont réglables en orientation par un système de trois vis qui permet de les rendre, une fois pour toutes, parallèles entre eux. Chaque pièce est portée sur sa plate-forme par un support qui permet le réglage initial. Pour les prismes, ce support permet de rendre les arêtes parallèles entre elles et à la direction commune des axes de rotation ; il permet aussi de les placer une fois pour toutes au minimum de déviation par une rotation *à la main* autour d'un axe vertical, mouvement que l'on bloque une fois le réglage effectué. Le support du miroir (*fig.* 3) permet aussi une rotation initiale autour d'un axe vertical ; le miroir peut en outre basculer d'un mouvement lent autour d'un axe horizontal, mouvement qui a pour effet de faire monter ou descendre le spectre dans le champ.

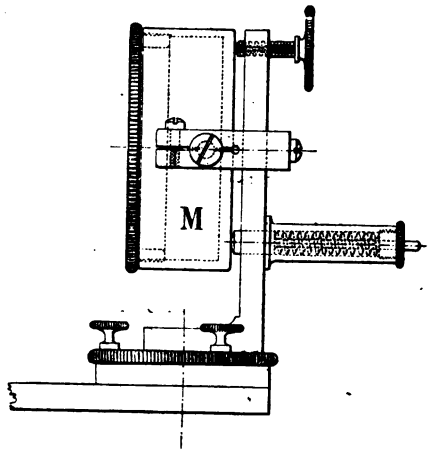


Fig. 3.

Enfin il importe que chaque pièce soit liée à son support sans subir de déformation ni de compression qui aurait pour effet de donner de la biréfringence au verre. Les prismes sont posés sur leurs montures métalliques par l'intermédiaire de drap feutré, et légèrement appuyés par des ressorts dont on peut régler la tension à volonté.

Dispositif oculaire et photographique. — Pour l'observation photographique, un châssis 9 × 12 occupe le plan focal de l'objectif. Ce châssis peut recevoir un déplacement en hauteur pour le cas où l'on veut photographier successivement plusieurs spectres. Un volet en ébonite, placé un peu en avant, permet de limiter le spectre en hauteur. Pour la mise au point, le châssis peut recevoir un mouvement, d'avant en arrière au moyen d'une crémaillère. Il peut aussi recevoir une inclinaison autour d'un axe vertical, pour mettre au point en même temps les diverses parties du spectre. L'objectif lui-même peut se déplacer, au moyen d'une crémaillère, pour amener la fente à être exactement dans son plan focal.

Pour l'observation oculaire, on substitue au châssis une plaque à laquelle est fixé le tube porte-oculaire. On peut y adapter quatre oculaires, ayant respectivement comme distances focales 35, 24, 20 et 12 millimètres, ce qui donne, avec l'objectif de 1 mètre de foyer, des grossissements d'environ 30, 40, 50, 80. L'un de ces oculaires est micrométrique, avec un pas de $0^{mm},5$.

Enfin, la fente a une largeur réglable au moyen d'une vis munie d'un tambour divisé. Elle est munie d'un mouvement d'orientation lent par vis de butée et ressort antagoniste.

Fig. 4.

La *fig.* 4 représente l'ensemble de l'instrument. On remarquera que l'observateur, sans même allonger le bras, peut agir sur les mouvements d'élargissement et d'orientation de la fente, sur la mise au point, sur le mouvement qui fait défiler le spectre dans le champ.

Qualites optiques. — Il n'est pas difficile d'accroître indéfiniment la longueur d'un spectre, par l'augmentation de la distance focale de l'objectif ou par la multiplication du nombre des prismes; mais on n'accroît pas toujours en proportion le pouvoir de définition de l'appareil; si même la taille des surfaces est imparfaite, l'accroissement du nombre des réfractions peut diminuer le pouvoir de définition. La seule manière de définir les qualités d'un spectroscope consiste à indiquer qu'il est capable de séparer telle et telle radiation; le spectre d'un appareil à prismes n'étant pas *normal*, il est nécessaire de répéter cette indication pour diverses régions du spectre. Pour que les qualités optiques des divers spectroscopes puissent être facilement comparées, il faudrait choisir dans les diverses parties du spectre un certain nombre de doublets servant de *tests;* le spectre solaire et les spectres de certains métaux en fourniraient un grand nombre. A défaut d'un pareil choix, nous nous bornerons à indiquer que, dans la région *b* (vers $\lambda = 520$), notre appareil montre toutes les raies du spectre solaire visibles sur les cartes de Rowland. Il montre aussi toutes les raies du fer observées par MM. Kayser et Runge.

La table suivante donne les longueurs occupées, sur le spectre réel, par une étendue de 1 $\mu\mu$, prise successivement dans les différentes parties du spectre, et amenée dans chaque cas au milieu du champ.

Longueur d'onde	Longueur occupée sur la plaque par une étendue de 1 $\mu\mu$
550	$1^{mm},1$
500	$1^{mm},25$
450	$1^{mm},35$
400	$2^{mm},6$
370	$3^{mm},4$

Le tableau suivant permet de comparer la dispersion de notre appareil avec celle de quelques-uns des grands spectroscopes astronomiques employés pour la mesure de la vitesse radiale des astres [1]. Pour chaque appareil, il donne en millimètres la longueur occupée sur la plaque par une étendue de 1 $\mu\mu$ prise dans la région $\lambda = 434$.

Indication de l'appareil	Dispersion
Bruce (Observatoire Yerkes)	$1^{mm},4$ par $\mu\mu$
Mills (Observatoire Lick)	$0^{mm},8$
Observatoire de Potsdam	$1^{mm},0$
Fabry et Jobin	$2^{mm},0$

[1] Voir *Astrophysical Journal*, t. XV, p. 18; 1902.

Pour un réseau de Rowland de 560 traits par millimètre et 7 mètres de rayon de courbure, cette longueur est de 4 millimètres pour le premier spectre ; mais le spectre est bien moins lumineux que dans notre spectroscope, et notre appareil est infiniment moins encombrant.

Theorie élémentaire de l'audition ;

Par M. Marage [1].

Dans tous les traités de physique, un chapitre est consacré à l'oreille et à sa fonction.

Malheureusement les physiciens considèrent l'audition comme appartenant au domaine de la biologie, tandis que les physiologistes regardent cette étude comme une dépendance de l'acoustique ; aussi depuis quarante ans ce sont toujours les mêmes clichés, et presque les mêmes phrases, qui servent pour tous les auteurs. Je voudrais aujourd'hui reprendre cette question en quelques pages, de manière qu'un professeur puisse y trouver les données suffisantes pour faire un cours à des élèves d'élémentaires ; c'est dire que je n'ai pas la prétention de faire une étude approfondie, et qu'il ne faut chercher ici qu'un certain nombre de faits aussi précis que possible.

Description. — L'oreille est composée de trois parties : l'*oreille externe*, l'*oreille moyenne* et l'*oreille interne*.

1° L'*oreille externe* comprend : le pavillon, de forme variable, et le conduit auditif, dont les dimensions moyennes sont : longueur, 21 millimètres ; diamètre, 9 millimètres.

2° L'*oreille moyenne* a la forme d'une lentille biconcave dont l'épaisseur est, au centre, $1^{mm},5$, et sur les bords 4 millimètres ; sa hauteur est 10 millimètres ; elle est fermée, du côté de l'oreille externe, par la membrane du tympan (circulaire, diamètre 10 millimètres) ; elle communique avec l'oreille interne par la *fenêtre ronde* (circulaire, diamètre $1^{mm},5$) et la *fenêtre ovale* (elliptique, petit axe $1^{mm},5$, grand axe 3 millimètres) ; de telle sorte que, si on prend la surface

---

[1] Séance du 6 mai 1904.

de la fenêtre ronde pour unité, la fenêtre ovale vaut 2 fenêtres rondes et le tympan vaut 44 fenêtres rondes (*fig.* 1).

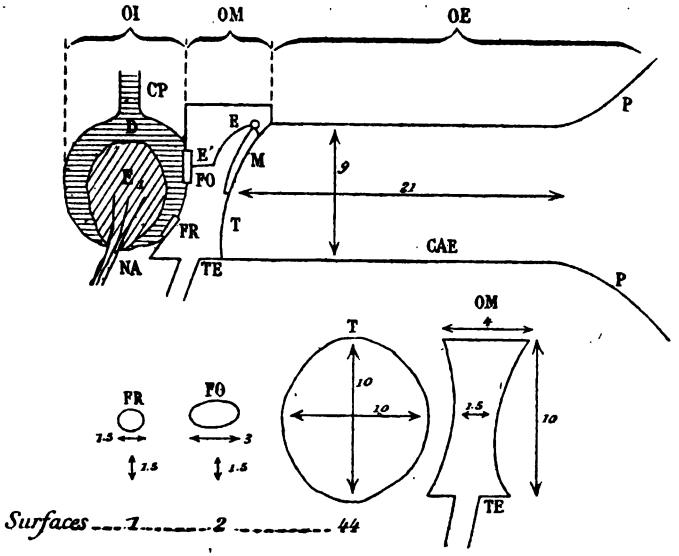


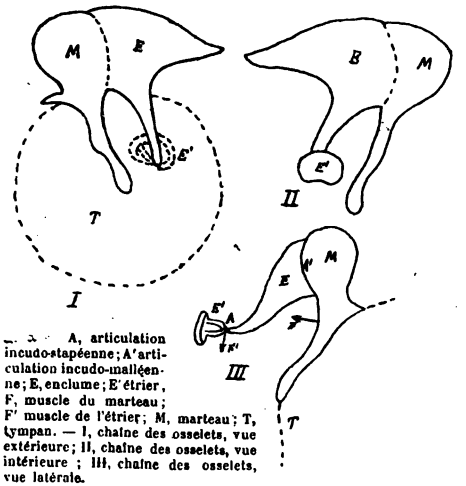
Fig. 1. — Schéma de l'oreille.

OE, oreille externe. — P, pavillon. — CAE, conduit auditif externe. — OM, oreille moyenne. — T, tympan. — M, marteau. — E, enclume. — E', étrier. — FO, fenêtre ovale. — FR, fenêtre ronde. — TE, trompe d'Eustache. — OI, oreille interne. — P, périlymphe. — CP, canal périlymphatique. — E, endolymphe. — NA, nerf auditif.

L'oreille moyenne est pleine d'air qui communique avec l'atmosphère par un tube, la trompe d'Eustache, s'ouvrant dans le pharynx : la pression est ainsi toujours égale sur les deux faces du tympan. Les vibrations du tympan sont transmises à la fenêtre ronde par l'intermédiaire de l'air, et à la fenêtre ovale par l'intermédiaire de la chaîne des osselets (*fig.* 2), composée du marteau M, de l'enclume E, de l'étrier E'; l'enclume étant au milieu s'articule d'un côté avec le marteau en A' (articulation incudo-malléenne), de l'autre en A avec l'étrier (articulation incudo-stapéenne).

Deux muscles agissent suivant les directions des forces F et F' : l'un, F, le muscle du marteau, augmente la tension du tympan (c'est le muscle qui fait écouter); l'autre, F', le muscle de l'étrier, empêche les déplacements trop grands de l'étrier (c'est le muscle qui protège contre les vibrations très intenses).

3° *L'oreille interne.* — L'oreille interne a un volume de 200 millimètres cubes environ ; elle est remplie d'un premier liquide, la périlymphe P (*fig.* 1), qui communique avec le liquide céphalo-rachidien par un canal, le canal périlymphatique ; un sac membraneux, le *sac*



A, articulation incudo-stapéenne ; A' articulation incudo-malléenne ; E, enclume ; E' étrier, F, muscle du marteau ; F' muscle de l'étrier ; M, marteau ; T, tympan. — I, chaîne des osselets, vue extérieure ; II, chaîne des osselets, vue intérieure ; III, chaîne des osselets, vue latérale.

Fig. 2. — Chaîne des osselets.

endolymphatique, est complètement plongé dans la périlymphe et rempli d'un second liquide, le liquide endolymphatique E (*fig.* 1). C'est au milieu de ce liquide que se trouvent les terminaisons nerveuses du nerf auditif ; le volume de l'endolymphe est à peu près le tiers de celui de la périlymphe. On voit donc que les vibrations extérieures, avant d'impressionner ce nerf, doivent traverser le tympan, la chaîne des osselets, la périlymphe et l'endolymphe, et que tout est disposé, dans l'oreille, non pour augmenter l'intensité des vibrations, mais au contraire pour la diminuer le plus possible.

Nous allons étudier maintenant l'action de chacune des parties de l'oreille, (1) pavillon, (2) conduit auditif externe, (3) tympan, (4) chaîne des osselets, (5) périlymphe et endolymphe, (6) nerf auditif.

A. — Oreille externe

1° Pavillon. — Sa forme est très variable suivant les différents animaux ; il contribue à indiquer la direction du son.

Expérience. — Il suffit de supprimer son action en introduisant dans chaque conduit auditif un tube de caoutchouc qui dépasse l'orifice de 1 ou 2 centimètres. L'opérateur ferme les yeux, et il lui est alors très difficile de dire où se trouve exactement un corps sonore produisant une vibration perçue par l'oreille.

2° Conduit auditif. — Longueur mesurée en ligne droite, 21 millimètres; diamètre vertical moyen, 9 millimètres; diamètre horizontal moyen, $7^{mm},5$.

Il protège l'oreille moyenne et contribue à augmenter l'action des vibrations sur le tympan.

Expérience. — On prend une capsule de Kœnig munie d'une membrane de caoutchouc très mince; dans la chambre à gaz, on fait passer un courant d'acétylène que l'on allume; la flamme est photographiée sur une feuille de papier sensible qui passe derrière l'objectif d'un appareil de photographie avec une vitesse de 1 mètre à $1^{m},50$ à la seconde; si la membrane est directement au contact de l'air sans qu'elle soit entourée du moindre rebord, il est impossible de la faire entrer en vibration; il semble que les vibrations glissent à la surface; il faut l'entourer d'un cylindre de 2 à 3 centimètres de hauteur pour qu'elle puisse vibrer; ce cylindre est l'analogue du conduit auditif.

B. — Oreille moyenne

L'oreille moyenne agit à la façon d'un tambour inscripteur dans lequel tout est disposé pour atténuer les déplacements de la membrane, il suffit de considérer la *fig.* 3 pour s'en rendre compte immédiatement.

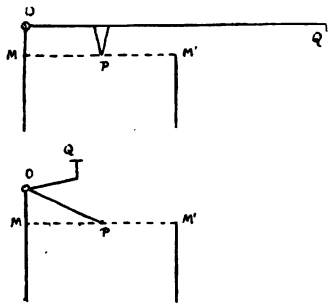


Fig. 3. — A droite, tambour inscripteur; à gauche, chaîne des osselets (schématique). A la partie supérieure, tambour inscripteur avec le levier OPQ; à la partie inférieure, l'oreille moyenne avec le levier OPQ.

3° Tympan. — Diamètre 10 à 11 millimètres, épaisseur très faible (une feuille de papier à cigarettes). Le tympan agit comme une

membrane mince qui transmet toutes les vibrations sans introduire ni supprimer aucun harmonique.

Expérience. — On prend une capsule de Kœnig munie d'un rebord, et on photographie la flamme vibrant sous l'influence des voyelles OU, O, A, E, I, que l'on parle devant elle.

Ensuite, on prend la tête d'un chien fraîchement tué, on la coupe en deux parties égales, suivant un plan médian antéro-postérieur, et, dans l'une des trompes d'Eustache, on introduit la longue branche d'une sonde en Y. L'une des branches est effilée, par l'autre arrive un courant d'acétylène; on enflamme le gaz et l'on a une véritable capsule de Kœnig dont la membrane est le tympan; on parle les cinq voyelles devant l'oreille, et on obtient sur du papier photographique les mêmes images que précédemment.

Le tympan est incliné sur l'axe du conduit auditif; l'angle égale 45 degrés à peu près chez l'adulte, 10 degrés à la naissance.

Quel rapport y a-t-il entre l'acuité auditive et l'inclinaison du tympan ? On n'en sait encore rien d'une façon précise; si on fait des expériences avec des membranes plus ou moins inclinées sur l'axe du tube qui amène les vibrations, on ne découvre aucune différence appréciable entre les tracés ainsi obtenus.

4° Chaine des osselets (poids, 12 centigrammes en moyenne). — La grande branche du marteau est encastrée dans le tympan dont elle suit tous les mouvements; ces mouvements sont transmis à la fenêtre ovale diminués à peu près de $\frac{1}{3}$ dans leur amplitude (*fig.* 2); on va démontrer que les déplacements de l'étrier sont de l'ordre de grandeur du $\frac{1}{1000}$ de millimètre.

Expérience. — On se rappellera d'abord que l'intensité d'un son est proportionnelle au carré de l'amplitude des vibrations qui le produisent.

On prend une sirène à voyelles et un appareil graphique dont la masse du levier est sensiblement la même que la masse des osselets, et on obtient une courbe, celle de A, par exemple, sous une pression de 200 millimètres d'eau ; dans une période de ce tracé, on trouve des amplitudes de :

1 millimètre ; $0^{mm},5$; $0^{mm},25$.

Pour avoir le déplacement de la membrane, il suffit de multiplier ces nombres par le rapport des longueurs des bras de levier, on trouve :

$0^{mm},1$, $0^{mm},05$, $0^{mm},025$;

dans les mêmes conditions, le déplacement de l'étrier aurait été les 3/4 de ces nombres ou :

$0^{mm},075$; $0^{mm},037$; $0^{mm},018$.

Or ce même son qui vient d'être produit sous une pression de 200 millimètres d'eau est parfaitement perçu par l'oreille sous une pression de 1/2 millimètre d'eau; donc, d'après la seconde proposition, les déplacements de l'étrier doivent être $\sqrt{400} = 20$ fois plus petits, c'est-à-dire :

$0^{mm},0036$, $0^{mm},0018$, $0^{mm},0009$.

Ces unités sont sensiblement de l'ordre de celles dont se déplace la plaque d'un microphone ; ces nombres n'ont donc rien d'invraisemblable.

On pourrait objecter que l'appareil dont on s'est servi n'est pas comparable à l'oreille moyenne, et que cet organe est beaucoup plus sensible ; je vais démontrer qu'il n'en est rien.

1. La membrane employée est plus mobile que le tympan, car, pour une augmentation de pression de 1 millimètre d'eau, le tympan se déplace de $\frac{6}{1000}$ de millimètre, tandis que, pour la même pression, la membrane de caoutchouc se déplace de $\frac{17}{100}$ de millimètre, c'est-à-dire 28 fois plus.

2. Le levier a un poids comparable à la chaîne des osselets (14 centigrammes au lieu de 12) ; de plus, il est soutenu par un axe vertical entre pointes, et il est mobile dans un plan horizontal de manière à annuler l'action de la pesanteur ; il n'adhère pas à la membrane, et un petit courant d'air le force à en suivre tous les mouvements ; enfin, le papier est à peine noirci et la résistance de la plume est certainement plus faible que celle qui est opposée à l'étrier par le liquide de l'oreille interne.

Remarque. — Lorsque, pour une raison quelconque, la chaîne des osselets est immobilisée, les vibrations peuvent passer directement du tympan à la fenêtre ronde par l'intermédiaire de l'air de l'oreille moyenne, et, si le tympan lui-même est trop épaissi pour vibrer, il suffit d'y faire un trou pour que les vibrations passent directement à la fenêtre ronde et que le son soit perçu.

C. — Oreille interne

5° Périlymphe et endolymphe. — Les terminaisons nerveuses du nerf auditif ne sont pas influencées directement par les vibrations arrivées à la fenêtre ronde ou à la fenêtre ovale.

Ces vibrations doivent traverser un premier liquide, la périlymphe, qui, elle-même, entoure complètement un sac clos rempli d'un liquide, l'endolymphe, dans lequel se trouvent les terminaisons nerveuses du nerf auditif. D'ailleurs, je le répète, tout est disposé dans l'oreille de manière non pas à augmenter, mais à diminuer le plus possible l'intensité des vibrations extérieures, avant qu'elles viennent à impressionner le nerf auditif.

Il faut déterminer : *a) la nature de ces liquides ; b) comment les vibrations les traversent.*

a) Nature de la périlymphe et de l'endolymphe. — Le liquide de l'oreille interne contient des cristaux plus ou moins volumineux, les *otolithes ;* on peut sans difficulté étudier ce liquide chez les batraciens.

Chez la grenouille, le contenu de l'oreille interne a une apparence laiteuse, il

est relativement facile d'en recueillir 1 milligramme. J'en ai déterminé la densité, elle est 2,18; ce chiffre est très élevé [1].

La composition est la suivante : *c'est une dissolution de bicarbonate de chaux et de magnésie* dans un liquide chargé *d'acide carbonique avec cristaux de carbonates insolubles en excès.*

Au contact de l'air, l'acide carbonique se dégage très rapidement, et il est facile d'en déceler la présence.

Le liquide lui-même est très volatil; au microscope, il se présente sous l'aspect d'une substance huileuse qui se condense en gouttelettes; il a été impossible d'en recueillir suffisamment pour en déterminer la composition.

Les cristaux qui restent sont formés de carbonate de chaux et de très petites quantités de carbonate de magnésie; les plus volumineux d'entre eux sont de la grosseur d'un globule sanguin (32 μ); les autres, 98 0/0 à peu près, sont beaucoup plus petits, et il y en aura un grand nombre qui sont à peine visibles avec un grossissement de 450 diamètres.

Ces otolithes sont solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique, et on peut les faire réapparaître par évaporation.

Le contenu de l'oreille interne est donc constitué par une dissolution de bicarbonate de chaux et de magnésie avec des cristaux en excès de carbonates insolubles; la grande densité de ce mélange en fait un très bon conducteur du son; et ce milieu est aussi homogène qu'un acier quelconque, comme il est facile de s'en convaincre en étudiant ces solides au microscope.

On peut manifester l'existence de ces cristaux chez l'animal vivant.

Pour cela, on radiographie une grenouille vivante. Le maxillaire inférieur a été rabattu sur le thorax, de manière à diminuer l'épaisseur des tissus; les taches O et O' représentent les otolithes (*fig.* 4); dans la *fig.* 5, un des otolithes O' a été enlevé et placé en O'' sur la plaque.

Les expériences faites sur les oiseaux ont prouvé que la densité du liquide de l'oreille interne était, chez ces animaux, voisine de 1,045; les otolithes existent en faible quantité, mais il a été impossible jusqu'ici de recueillir du liquide pur en quantité suffisante pour faire l'analyse.

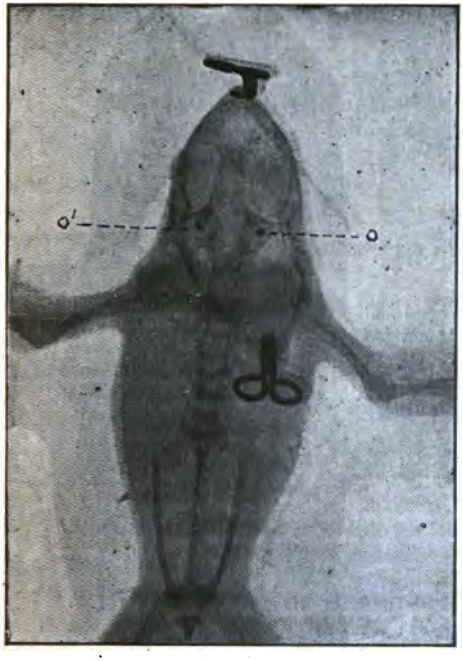
Ces recherches ont été poursuivies chez les mammifères; mais il s'est présenté une difficulté nouvelle : l'impossibilité chez les mammifères d'avoir du liquide pur non mélangé avec le sang. On s'explique alors pourquoi les auteurs ont prétendu que la composition du liquide de l'oreille interne se rapprochait de celle du sérum sanguin.

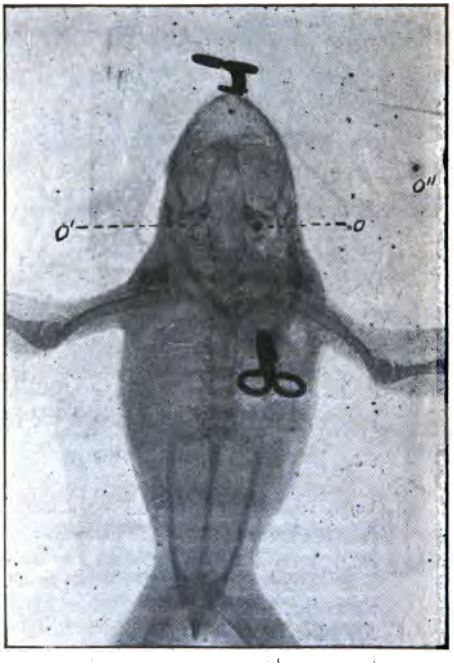
Pour résoudre la question, on peut prendre une méthode détournée qui est la suivante : supposons que la composition de ce liquide soit analogue chez l'homme et chez la grenouille, et que l'on fasse réagir sur lui une solution d'un sel acide de quinine, du chlorhydrate par exemple, il se formera des chlorures de calcium et de magnésium solubles, et il se déposera des cristaux de chlorhydrate de quinine : la réaction se fait très facilement sur le porte-objet du microscope.

---

[1] Pour obtenir la densité, il suffit d'avoir une série de liquides de densités connues non miscibles avec la périlymphe; on cherche par tâtonnement le liquide dans lequel une goutte de périlymphe reste en équilibre : la densité de la périlymphe est alors égale à celle du liquide.

Le même phénomène se passe très probablement dans l'organisme, et c'est ce qui pourrait expliquer la surdité et le bourdonnement produits par les sels de quinine et certains autres médicaments donnant des réactions du même genre.





Otolithes O et O'. L'otolithe O' a été enlevé et placé en O''.

Fig. 4 et 5. — Radiographie des otolithes de la grenouille.

La conséquence est que, pour éviter les bourdonnements dus à ce corps, il faut employer des sels qui ne puissent pas réagir chimiquement sur le liquide de l'oreille interne : du carbonate ou du bicarbonate de quinine, par exemple : ces sels étant complètement insolubles, on s'est servi d'un composé voisin, l'éthylcarbonate de quinine ; or, il se trouve que ce produit, qui est sans action sur le liquide de l'oreille interne, donne des tintements d'oreille très atténués. Il y a là peut-être une simple coïncidence, mais elle est intéressante à signaler. L'éthylcarbonate de quinine a pour formule :

$$CO\begin{cases} OC^{20}H^{26}Az^{2}O \\ OC^{2}H^{5} \end{cases}$$

En résumé on se trouve, chez la grenouille, en présence d'une dissolution, dans un liquide de nature indéterminée, de bicarbonate de chaux et de bicarbonate de magnésie avec cristaux de carbonates

en excès; et l'une des fonctions des otolithes est probablement de maintenir aussi constante que possible la conductibilité acoustique de ce milieu. Il est très probable que la composition de la périlymphe et de l'endolymphe est analogue chez les oiseaux et chez les mammifères.

b) *Passage des vibrations à travers la périlymphe et l'endolymphe.* — La question à résoudre est la suivante : étant donné que l'étrier se déplace de millièmes de millimètre, quelle est la nature des mouvements que ces déplacements impriment aux liquides de l'oreille interne : la périlymphe et l'endolymphe ?

Deux théories sont aujourd'hui en présence : la première, encore classique, est celle de Helmholtz ; pour cet auteur, « ce sont des vibrations transmises aux liquides, et certaines parties de l'organe de Corti qui vibrent à l'unisson ». La seconde théorie, plus récente, admet que ce sont des mouvements du liquide en totalité qui vient frotter à la fois toute la surface épithéliale auditive. Les expériences qui suivent montrent que ces deux théories ne semblent pas absolument exactes et qu'il faut en admettre une troisième.

Première expérience. — Dans un tube de verre de 2 millimètres de rayon, de manière que sa section droite ait une surface à peu près égale à celle de l'étrier, on met de l'eau distillée contenant des otolithes de grenouille, et l'on soumet ce liquide aux vibrations de la sirène à voyelles, transmises par l'intermédiaire d'une membrane de caoutchouc ; quelles que soient l'intensité des vibrations et leur durée, quel que soit le volume du liquide, il est impossible de le faire entrer en vibration ; la théorie de Helmholtz, sans citer d'autres raisons fort nombreuses, semble donc bien improbable.

Deuxième expérience. — L'oreille interne est représentée schématiquement dans la *fig.* 6 ; un sac membraneux, fermé, contenant l'endolymphe E et les cellules auditives, est plongé dans un récipient qui renferme la périlymphe P ; ce liquide est mis en rapport avec l'extérieur par les trois moyens suivants :

a) La fenêtre ovale O qui suit les déplacements de l'étrier ;

b) La fenêtre ronde R, dont la surface est la moitié de la première ; elle suit en sens inverse tous les mouvements de la fenêtre ovale ;

c) Le canal périlymphatique CP qui communique avec le liquide céphalo-rachidien. La figure représente un schéma encore plus simplifié, mais contenant les éléments essentiels de l'oreille interne.

On peut facilement reproduire ce dispositif de la façon suivante : deux petits cylindres de même hauteur (III), mais de diamètre inégal, sont tangents antérieurement ; leurs bases sont formées de deux lamelles de verre ; le cylindre intérieur (endolymphe) est en baudruche très mince ; le cylindre extérieur en verre (périlymphe) communique avec deux tubes à 180 degrés l'un de l'autre : l'un des tubes est recourbé et effilé ; il contient de l'air R', qui forme un petit manomètre et représente la résistance opposée par la fenêtre ronde et le canal périlymphatique ; les deux cylindres sont remplis d'eau contenant des otolithes ; les liquides sont soumis, par l'intermédiaire du tube ouvert O, à des vibrations bien déterminées et dont on connaît le tracé.

Si l'on examine au microscope ce qui se passe pendant les vibrations, on constate que la périlymphe est animée de mouvements de va-et-vient en totalité, tandis que l'endolymphe est absolument immobile ; donc les cellules auditives ne sauraient être influencées par des transports du liquide en totalité, puisque le liquide dans lequel elles baignent ne bouge pas.

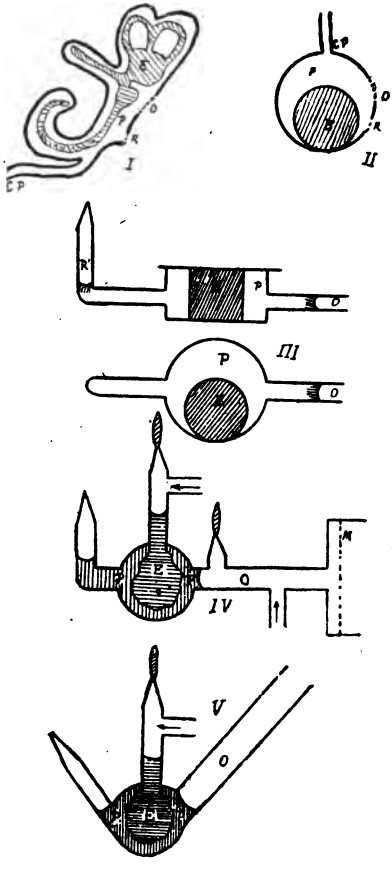


Fig. 6. — Oreille interne schématique.

CP, canal périlymphatique. — E, endolymphe. — M, membrane vivante. — O, fenêtre ovale. — P, périlymphe. — R, fenêtre ronde. — R', manomètre à air.

Troisième expérience. — Il s'agit de prouver que le sac endolymphatique est soumis à des différences de pression ; pour cela, on répète l'expérience précédente en remplaçant les deux cylindres par des sphères tangentes intérieurement (IV et V) ; la sphère intérieure, en baudruche très mince, communique avec un tube ouvert et effilé, relié latéralement avec un autre tube par lequel arrive du gaz acétylène ; le tout est rempli du même liquide que l'appareil pré-

cédent; le volume total du liquide est le même que celui de l'oreille interne (200 millimètres cubes environ).

Si l'on examine le ménisque au microscope, on voit qu'il est animé de mouvements très rapides de bas en haut, qui indiquent des différences de pression. Il est important de voir si ces différences de pression ont un certain rapport avec les tracés des voyelles; pour cela, on allume le gaz acétylène, et, avec un chronophotographe de Marey à mouvement continu, on photographie la flamme lorsque le liquide est soumis aux vibrations des voyelles.

On constate que l'on obtient les mêmes tracés que si l'on photographiait directement les vibrations dans l'air. Donc le sac endolymphatique, qui, dans la nature, est complètement clos, est soumis à des pressions variables et groupées de façon spéciale pour chaque voyelle.

Pour voir au microscope les déplacements du ménisque, il faut employer des sons qui donneraient à l'étrier des déplacements de quelques centièmes de millimètre, tandis que cet osselet se déplace au plus de $\frac{1}{1000}$ de millimètre, c'est-à-dire que ces sons ne pourraient être supportés par une oreille normale.

Il est facile de comparer l'intensité des vibrations employées avec l'intensité des vibrations de la voix, et de conclure, comme on l'a fait, une valeur approximative des pressions qui s'exercent sur le sac endolymphatique.

Ces pressions (de l'ordre de 10^{-10} centimètres pour une voix ordinaire d'intensité égale à 20) sont voisines des dimensions attribuées aux atomes (10^{-9}) et de l'espace qui les sépare (10^{-8}).

En résumé, les vibrations, en arrivant au tympan, communiquent à l'étrier des déplacements qui sont au plus de l'ordre du $\frac{1}{1000}$ *de millimètre; ces déplacements, transmis par la périlymphe, impriment au sac endolymphatique des variations de pressions qui sont groupées comme les tracés des vibrations qui arrivent au tympan; on pourrait presque dire que l'étrier agit à la façon d'un manipulateur de télégraphe Morse.*

Les variations de pression dans l'oreille interne sont donc représentées par des unités de même ordre que les actions qui impressionnent les autres nerfs sensoriels ou sensitifs; le nerf acoustique cesse ainsi d'être une exception et rentre dans la loi commune.

6° Nerf auditif. — Comment un son impressionne-t-il les terminaisons nerveuses?

C'est une question excessivement complexe qui n'est pas encore au point.

Deux hypothèses sont en présence.

1° *Pour Helmholtz.* — Chaque terminaison nerveuse du limaçon est influencée et ne peut être influencée que par un seul son de hauteur déterminée; en se servant d'une comparaison grossière, le filet nerveux vibrerait par sympathie comme le fait une corde de piano quand il se produit dans le voisinage le son qu'elle peut rendre;

malheureusement le limaçon n'existe pas chez les oiseaux, qui sont des chanteurs excellents et qui cependant entendent et s'entendent chanter;

2° Pour d'autres auteurs, tous les filets nerveux seraient également impressionnés, et ce seraient des centres nerveux différents situés dans le cerveau qui réagiraient différemment.

Il est probable que, d'ici longtemps, on ne pourra pas faire d'expérience directe capable de fournir une preuve absolue pour ou contre l'une de ces hypothèses.

Sur l'aimantation et la magnétostriction des aciers au nickel;

Par MM. H. Nagaoka et K. Honda (1).

Les résultats de nos expériences sur la magnétostriction des aciers au nickel (2) ont été discutés par M. Guillaume (3) et M. Osmond (4). Ces résultats se rapportaient seulement à quatre échantillons, de telle sorte que nous ne pouvions pas, à l'époque de notre première publication, tirer des conclusions définitives concernant la relation entre la composition et la magnétostriction des aciers au nickel.

Après avoir examiné huit nouveaux échantillons, dont nous sommes redevables à la Société de Commentry-Fourchambault et Decazeville, nous pouvons maintenant donner des courbes de l'aimantation et de la magnétostriction en fonction de la teneur. Nous espérons que nos expériences actuelles fourniront quelques documents pour l'établissement d'une théorie expliquant non seulement les diverses propriétés métallurgiques et mécaniques des aciers au nickel, mais aussi leurs variations thermiques, électriques et magnétiques.

Les barrettes d'acier-nickel ont toutes été tournées en forme d'ovoïdes de 20 centimètres de grand axe et de 1 centimètre de petit axe, que l'on plaçait dans l'axe d'une bobine de 30 centimètres de long et de 0,6 ohm de résistance donnant un champ de 37,97 gauss

---

(1) Séance du 6 mai 1904.
(2) *J. de Phys.*, 4e série, t. I, p. 627; 1902.
(3) *Ibid.*, p. 633.
(4) *C. R.*, t. CXXXIV, p. 696; 1902.

pour un courant de 1 ampère. L'aimantation était déterminée au moyen d'un magnétomètre, l'effet de la bobine étant compensé par une autre bobine de même moment magnétique, placée symétriquement par rapport au magnétomètre. Les changements de longueur étaient mesurés à l'aide d'un appareil antérieurement décrit [1]. L'ovoïde était ensuite enfermé dans un dilatomètre à eau, et les variations du volume étaient mesurées par le déplacement du ménisque. Dans ces expériences, on a pris grand soin d'éliminer les effets de l'échauffement produit par le courant, en enveloppant la bobine dans une double enveloppe d'eau et en observant le déplacement quelques secondes après l'établissement du courant. Les ovoïdes étaient désaimantés par renversement après chaque observation.

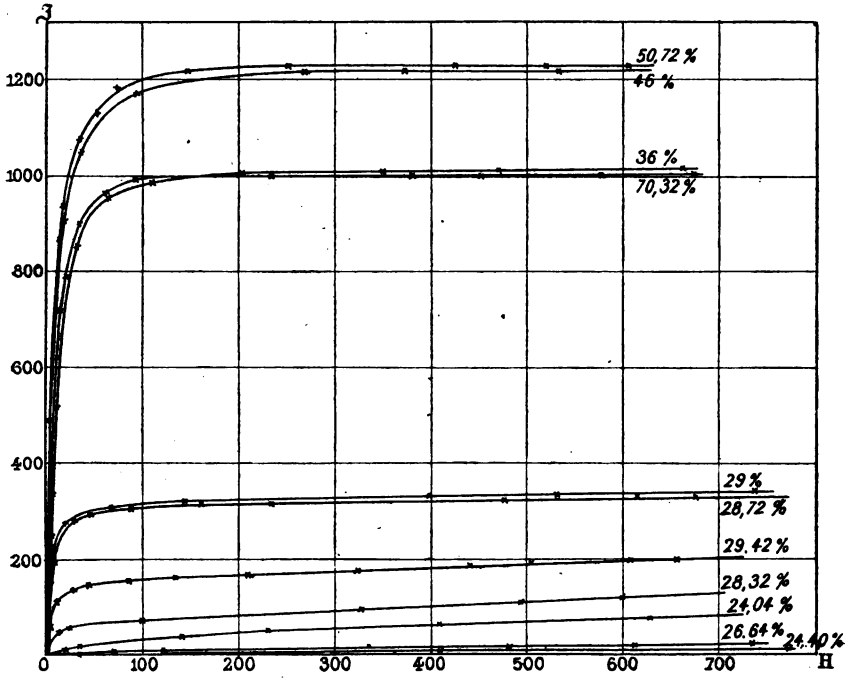


Fig. 1.

Aimantation des aciers au nickel. — A la suite d'expériences faites sur huit échantillons d'acier au nickel de teneurs comprises entre 26,2

(1) *Phil. Mag.*, t. XXXVII, p. 131 ; 1894.

et 44 0/0 de nickel, M. Dumont [1] a trouvé un accroissement graduel de susceptibilité par l'élévation de la teneur en nickel. Dans nos expériences, les écarts de teneur étaient plus considérables, de telle sorte que quelques particularités nouvelles des courbes ont pu être mises en évidence.

Comme on verra (*fig.* 1), le champ le plus intense (champ extérieur — facteur de désaimantation multiplié par l'intensité d'aimantation) est d'environ 700 gauss. Pour cette intensité, tous les alliages

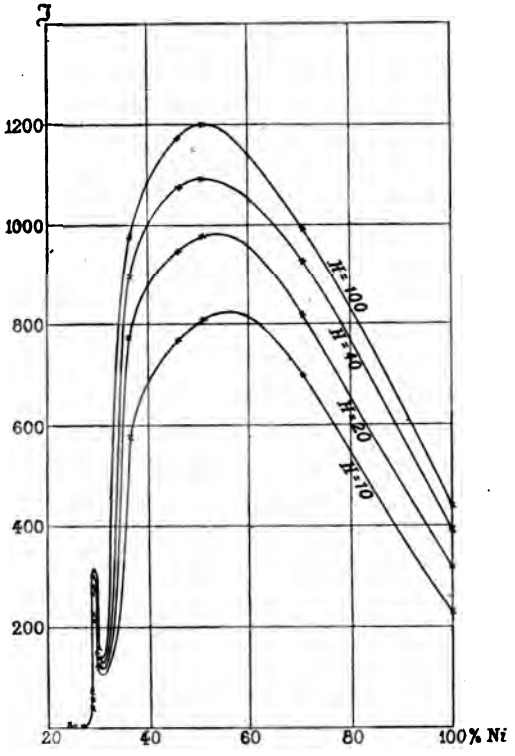


Fig. 2.

étudiés sont saturés, de telle sorte qu'un accroissement plus considérable du champ aurait été superflu.

Ainsi que l'indique Hopkinson, le magnétisme de l'acier à 25 0/0 de nickel est à peu près nul, tandis qu'il croît des deux côtés de cette teneur.

(1) *C. R.*, t. CXXVI, p. 741 ; 1898.

Le défaut d'échantillons ne nous a pas permis d'opérer avec des alliages à moins de 24 0/0 de nickel.

La courbe d'aimantation en fonction de la teneur présente, pour 29 0/0 de nickel, un maximum accusé, bientôt suivi d'un minimum après lequel la susceptibilité croît de nouveau rapidement et tend vers un nouveau maximum pour des teneurs à peu près égales en fer et en nickel. Ainsi la courbe d'aimantation pour l'alliage à 46 0/0 est très peu au-dessous de la courbe correspondant à 50,72 0/0.

La teneur en nickel qui correspond au maximum de susceptibilité baisse lorsque le champ croît, et tend vers 50 0/0, comme le montre la *fig.* 2. A partir de ce maximum, la susceptibilité diminue, de telle sorte que les courbes d'aimantation pour 36 et 70,3 0/0 sont à peu près les mêmes. Dans la branche descendante de la courbe de susceptibilité en fonction de la teneur, il ne semble pas y avoir de singularité comme dans la branche ascendante. La *fig.* 2 montre comment le magnétisme varie avec la teneur en nickel ; l'intensité d'aimantation n'est pas du tout régie par la loi des mélanges.

Changements de longueur par aimantation. — Ces changements sont représentés par les courbes des *fig.* 3 et 4. Tous les alliages examinés montrent, comme on voit, un allongement sous l'action du champ magnétique. Les alliages compris entre 24,04 et 46 0/0 se comportent de façon semblable, et n'indiquent pas un maximum d'allongement jusqu'à 2 000 gauss ; toutefois, à mesure que la teneur augmente, une limite à l'allongement se manifeste pour tous ces alliages. Dans les alliages plus riches en nickel, on constate l'existence d'un maximum correspondant à 1 000 gauss environ pour l'alliage à 50,7 0/0 et à 170 gauss pour 70,2 0/0.

L'augmentation du nickel au delà de 50 0/0 fait donc reculer le maximum vers les champs faibles. Le caractère des variations rappelle celui des changements du fer. Pour les teneurs plus élevées en nickel, l'alliage devra montrer une contraction croissante avec le champ. Ce changement remarquable dans le caractère du phénomène se produit probablement lorsque l'alliage approche du nickel pur.

Changements de volume. — Comme nous l'avons indiqué dans une précédente communication, l'action du champ est à peu près proportionnelle à l'intensité de ce dernier. Le changement représenté par les *fig.* 5 et 6 est énorme, comparé à celui du fer ou

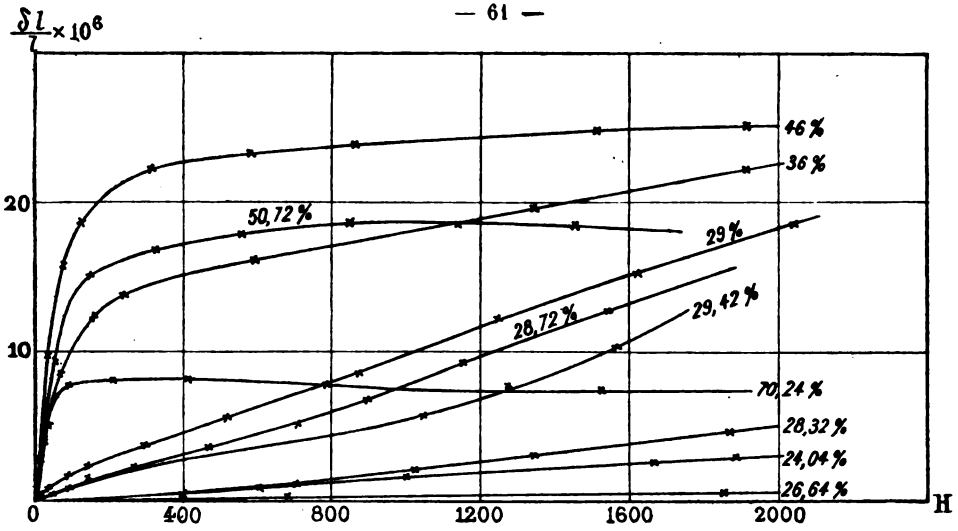

δl/l × 10⁶
20
10
0
400
800
1200
1600
2000
H
46 %
36 %
50,72 %
29 %
28,72 %
29,42 %
70,24 %
28,32 %
24,04 %
26,64 %

Fig. 3.

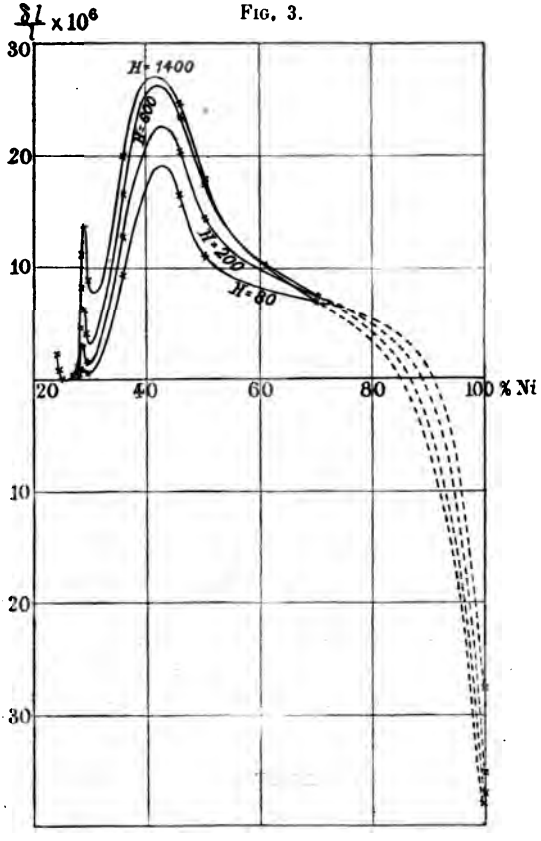

δl/l × 10⁶
30
20
10
H=1400
H=600
H=200
H=80
20
40
60
80
100 % Ni
10
20
30

Fig. 4.

du nickel. L'effet maximum se produit pour 29 0/0 de nickel; il est d'environ $50 . 10^{-6}$ pour $H = 1\,600$ gauss.

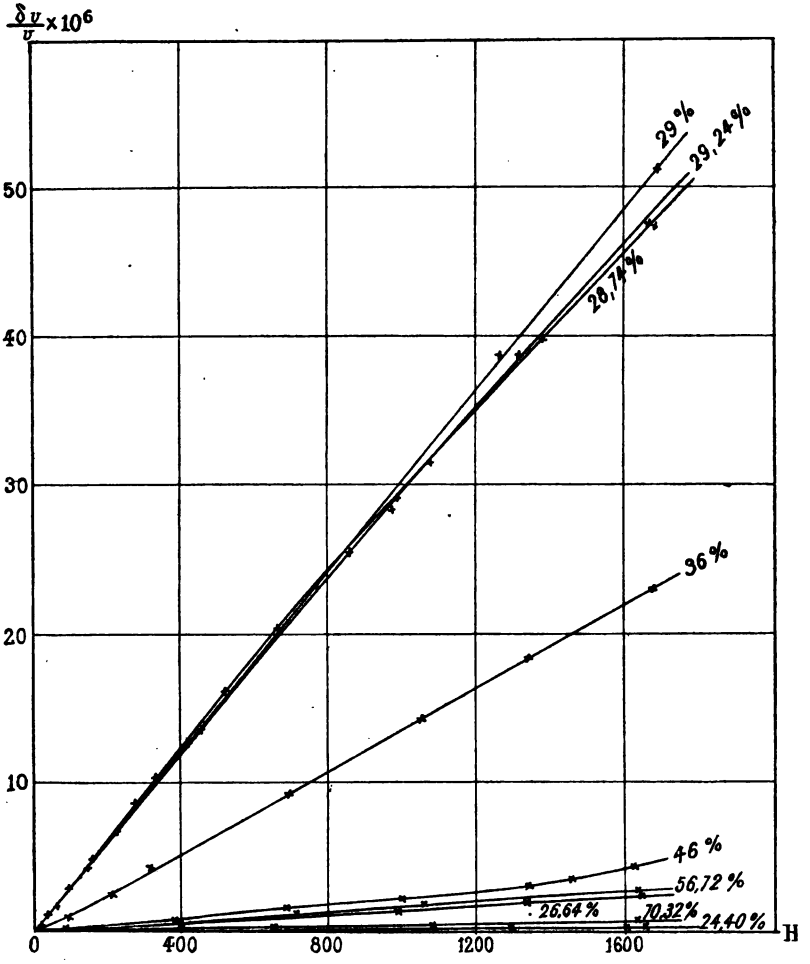


Fig. 5.

Les courbes tracées en fonction de la teneur s'élèvent rapidement de 25 à 29 0/0 et descendent rapidement aussi de 29 à 40 0/0. Ces variations s'approchent ensuite graduellement de celles qui correspondent au nickel pur.

En diverses occasions, nous avons remarqué que le changement

de volume sous l'action du magnétisme est d'une nature différentielle, puisque le changement de volume d'un ovoïde est égal à la somme de l'allongement dans le sens du champ et du double de l'allongement transversal. En général, l'allongement est positif dans la direction du champ d'aimantation et négatif dans la direction perpendi-

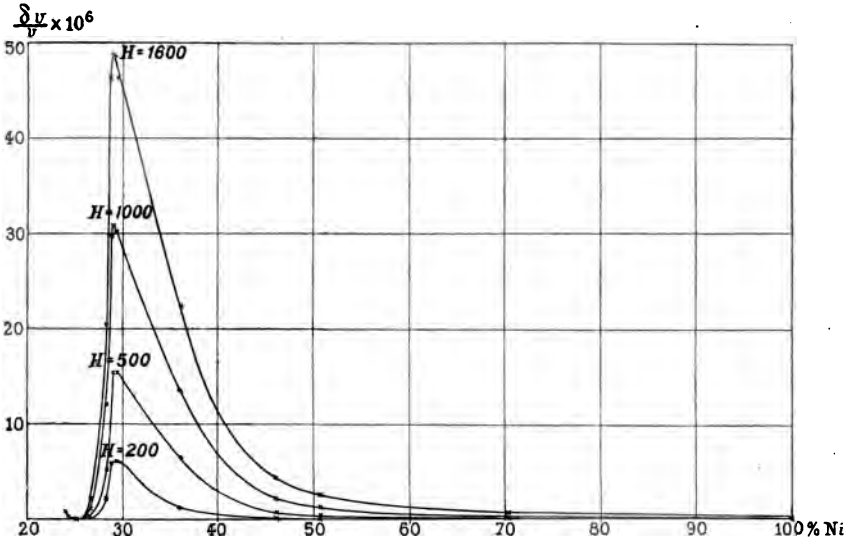


FIG. 6.

culaire. Dans le fer et le nickel, la somme des changements de longueur qui représente le changement de volume est à peu près nulle. Tel n'est pas le cas pour les aciers au nickel. On remarquera que le maximum très élevé à 29 0/0 correspond sensiblement au premier maximum de l'aimantation et du changement de longueur qui se produit à une teneur peu éloignée de la limite entre les aciers durs et les aciers doux. Cette coïncidence explique probablement la raison de l'existence du maximum comme effet différentiel.

En examinant les autres propriétés physiques de ces remarquables alliages, on est frappé par la coïncidence singulière des changements accompagnant le magnétisme au voisinage de 29 0/0 de nickel avec le changement des propriétés élastiques et thermiques lorsque le métal passe de l'état dur à l'état doux. Pour cette teneur, la résistance à la rupture est la plus faible, tandis que l'allongement

est maximum[1] ; c'est à peu près pour la même teneur que la température de transformation s'abaisse au maximum, là où l'alliage peut exister à l'état réversible et irréversible ; enfin c'est pour cette même teneur que le changement du coefficient de dilatation en fonction de la proportion de nickel est le plus grand[2]. Ces coïncidences ne sont pas fortuites ; mais des recherches concernant les conductibilités électriques[3] et thermiques révéleront probablement de semblables singularités dans la même région.

Une théorie vraiment satisfaisante de la constitution de l'alliage doit expliquer non seulement l'aspect métallurgique du métal, mais aussi ses diverses caractéristiques physiques et les réunir en un faisceau. Dans ce but, les investigations différentes dans lesquelles on modifierait les conditions d'examen du métal apporteront une importante contribution à la théorie.

Nous ajouterons en terminant que le magnétisme et la magnétostriction de ces alliages à la température de l'air liquide ont été examinés par MM. Honda et Shimizu, qui ont découvert aussi un certain nombre de faits nouveaux et intéressants.

Remarques sur le mémoire de MM. Nagaoka et Honda ;

Par M. Ch.-Éd. Guillaume.

Il est facile de voir que le plissement des courbes d'aimantation et d'allongement constaté par MM. Nagaoka et Honda disparaîtrait complètement si l'on déplaçait convenablement les teneurs des divers alliages de 5 millièmes à droite ou à gauche. Cette remarque m'a fait craindre que de petites erreurs dans les analyses des échantillons, ou un faible défaut d'homogénéité des coulées, eussent conduit à l'indication de ce retour des courbes qui, par suite, n'aurait aucune réalité. Pour élucider ce doute, j'ai prié M. Nagaoka de me retourner des copeaux enlevés des barrettes dans le tournage des ovoïdes ; une nouvelle analyse de ces copeaux, faite aux aciéries

---

(1) L. Dumas, *les Aciers au nickel à hautes teneurs* (Paris, Dunod, 1902).

(2) Ch.-Ed. Guillaume, *Recherches sur le nickel et ses alliages* (Gauthier-Villars, 1898) et *les Applications des aciers au nickel* (*ibid.*, 1904).

(3) Voir la note ci-après.

d'Imphy, a conduit à des résultats pratiquement identiques aux premiers. On ne pourrait donc plus invoquer, comme cause accidentelle et apparente du plissement, que les petites différences dans les teneurs en carbone, en manganèse ou en silicium des échantillons. Une étude plus approfondie de la question montrera si la série de coïncidences mise en lumière par MM. Nagaoka et Honda indique un point singulier des alliages, ou s'il s'agit d'un fait fortuit. J'ajouterai que le maximum de résistivité, dont MM. Nagaoka et Honda ne connaissaient pas la position au moment de l'envoi de leur mémoire, se trouve dans la même région, ce qui semblerait donner un nouvel appui à leur idée [1].

Appareil à nettoiement automatique et continu du mercure;

Par M. A. Turpain [2].

Le nettoiement d'une grande quantité de mercure (2 à 3 litres), quantité nécessaire au fonctionnement des pompes à vide, demande en général un assez grand laps de temps. Le passage répété du mercure dans une solution d'azotate mercureux nettoie convenablement le mercure. Le dispositif figuré ci-contre permet de rendre ce nettoiement continu, automatique et sans surveillance.

Trois vases A, B, C, superposés l'un à l'autre et s'adaptant à l'émeri, sont terminés chacun par un fond formé d'une sorte de pomme d'arrosoir en verre surmontée d'un siphon qui rend chaque vase analogue à un vase de Tantale. La section des siphons est réglée de telle sorte qu'ils se désamorcent dès que le mercure a atteint le niveau *a*. Les trous de chaque pomme d'arrosoir sont en nombre suffisant pour que l'engorgement ne puisse se produire, le vase C débitant plus que ne débite le vase B, qui lui-même débite plus que ne débite le vase A.

Au-dessus du mercure en A, on dispose une solution au 1/10 d'acide azotique pur, qui ne tarde pas à former au contact du mercure de l'azotate mercureux qui sera l'agent actif du nettoiement. Le vase B

---

(1) Société française de Physique. Résumé des Communications. Séance du 10 février 1904.

(2) Séance du 3 juin 1904.

contient de l'acide sulfurique pur qui dessèche le mercure nettoyé. — Le vase C contient une colonne de perles poreuses que surmonte une couche de potasse caustique qui arrête l'acide entraîné. Les perles poreuses absorbent la petite quantité de sulfate de potassium formé dont l'excès peut d'ailleurs surnager le mercure en *a* dans le vase C.

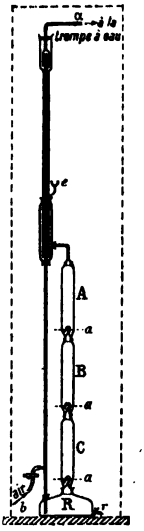


Fig. 1.

Le mercure tombé en R est remonté sous forme de chapelets de gouttes séparées par l'air qu'aspire une trompe à eau adaptée en α. — Le mercure circule ainsi d'une manière continue et automatique dans l'appareil. — Un robinet *r* permet de puiser du mercure. Un tube à entonnoir *e* permet d'introduire une nouvelle quantité de mercure à nettoyer dans la circulation.

L'usage de ce dispositif pendant plus de deux ans et la satisfaction qu'il nous a donnée nous a engagé à le publier. Il nous est arrivé de faire fonctionner pendant près d'un mois sans surveillance aucune, nuit et jour, l'appareil et d'obtenir ainsi sans peine du mercure assez propre non seulement pour l'usage des trombes, mais pour la confection d'arcs au mercure.

M. Berlemont a construit l'appareil sous une forme qui en rend le démontage et le nettoyage des plus faciles et qui le rend en même temps très robuste. — Ce nettoyage est d'ailleurs inutile quand

l'appareil fonctionne constamment. Il y a avantage à garder en A de l'acide qui a longtemps séjourné au contact du mercure.

Il est bon de débarrasser l'air aspiré en *b* de son humidité par un barboteur à acide sulfurique.

Étude et comparaison des procédés de réduction de l'hystérésis magnétique;

Par M. Ch. Maurain[1].

L'étude du magnétisme est rendue très difficile, d'une part par la complexité de la plupart des corps ferromagnétiques[2], d'autre part par l'hystérésis, liée à la complexité des substances, mais qui semble bien exister même pour les substances les plus homogènes. Dans ce travail, je me suis proposé d'étudier les procédés de réduction de l'hystérésis magnétique et de comparer les résultats obtenus par les différents procédés.

Lorsqu'on fait agir sur un noyau magnétique un champ magnétique croissant, puis décroissant, on obtient deux courbes d'aimantation différentes; mais, en faisant intervenir, après chaque variation du champ, certaines actions auxiliaires, on peut obtenir la même courbe à champ magnétisant croissant ou décroissant (je dirai, dans la suite, qu'on a alors une courbe unique ou réversible d'aimantation, ou encore que la réduction de l'hystérésis a été complète; nous verrons plus loin quel sens exact s'attache à ces expressions). Plusieurs physiciens ont obtenu des courbes uniques de ce genre : M. Ewing y est parvenu au moyen de chocs, MM. Gerosa et Finzi par l'action d'un courant alternatif parcourant la tige étudiée (mais, comme nous le verrons tout à l'heure, les courbes qu'obtenaient ces deux physiciens n'ont pas de signification précise); enfin, MM. Franklin et Clarke, en faisant agir, après chaque variation du champ magnétisant, un champ alternatif de même direction et d'amplitude décroissante[3]. Ces expériences n'ont d'ailleurs porté que sur des échantil-

---

(1) Séance du 18 juin 1904.

(2) V. par exemple : *Constitution des fers carburés* (*Éclairage électrique*, t. XXXVI, p. 441; 19 septembre 1903) et *Relations entre la constitution des fers carburés et leurs propriétés magnétiques* (*id.*, t. XXXVII, p. 89; 17 octobre 1903).

(3) Ewing, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, p. 564; 1885; — Gerosa et Finzi, *Rendiconti del R. Istituto Lombardo*, t. XXIV, p. 677; 1891; — Franklin et Clarke, *Physical Review*, t. VIII, p. 304; 1899.

lons de fer et n'ont donné lieu à aucune comparaison entre les résultats obtenus par deux procédés différents de réduction.

J'ai pu obtenir encore des courbes uniques d'aimantation par l'action d'un champ magnétique oscillant (fréquence 10^6 à 10^7), de même direction que le champ magnétisant, et par celle d'un courant oscillatoire parcourant le noyau magnétique. Je vais indiquer la disposition des expériences, puis étudier chacun de ces procédés de réduction de l'hystérésis, enfin exposer les expériences de comparaison et leurs résultats.

Disposition des expériences. — Les échantillons étudiés sont des fils fins, des rubans minces ou des tiges très allongées [1]; leur aimantation est mesurée par la méthode magnétométrique unipolaire. Ils sont placés suivant l'axe d'une longue bobine (144 centimètres de longueur, $3^{cm},1$ de diamètre extérieur, 6 couches de fil); les cinq couches extérieures de cette bobine sont parcourues par un courant continu qui produit le champ magnétisant (il faut ajouter au champ produit par la bobine la composante verticale du champ terrestre, $0^{gauss},43$ à l'endroit où est placée la bobine); la sixième couche peut être parcourue par un courant alternatif; elle produit ainsi un champ alternatif qu'on peut superposer au champ magnétisant. Concentriquement à cette bobine et à l'intérieur en est une autre formée d'une seule couche de fil et soigneusement isolée : on peut y faire passer un courant oscillant produisant ainsi un champ oscillant superposable au champ magnétisant.

Le magnétomètre employé, construit par la maison Carpentier, est à deux équipages magnétiques solidaires formant système astatique; le champ directeur est produit par deux aimants placés de part et d'autre du magnétomètre à la hauteur de l'un des équipages. L'avantage de cette disposition est qu'elle permet d'opérer dans des conditions de bonne sensibilité malgré l'influence perturbatrice de courants vagabonds provenant de lignes voisines de tramways électriques; le champ perturbateur varie peu suivant la verticale des deux équipages magnétiques (dont la distance était de 8 centimètres); son action totale sur le système astatique est donc très faible, et un champ directeur assez faible suffit pour que le zéro du magnétomètre soit bien stable. Les indications du magnétomètre mesurent l'intensité d'aimantation en unités arbitraires.

---

[1] J'ai particulièrement à remercier, pour l'amabilité qu'ils ont mise à m'en procurer, M. Carpentier, MM. Gindre et Limb, et M. Tahier, horloger à Rennes.

Le courant oscillant utilisé soit pour produire un champ oscillant longitudinal, soit pour parcourir le noyau, est produit par le dispositif de Tesla : les armatures d'une bouteille de Leyde sont reliées, d'une part, aux deux pôles d'une grosse bobine de Ruhmkorff, et, d'autre part, au circuit d'utilisation, qui comprend un micromètre à étincelles.

Le circuit à courant continu était commandé par des accumulateurs et tout à fait indépendant. Le courant d'un alternateur Limb pouvait être envoyé soit dans le primaire de la bobine de Ruhmkorff, soit dans la couche de fil dont il a été parlé, soit dans le noyau magnétique lui-même, de sorte que le jeu rapide de commutateurs permettait de substituer rapidement l'une à l'autre les différentes actions réductrices, sans qu'on eût à toucher à la bobine magnétisante ni au noyau magnétique étudié.

Remarque générale sur le mode d'emploi des actions réductrices électromagnétiques. — Lorsqu'on emploie un des procédés électromagnétiques de réduction de l'hystérésis, il faut, pour que la courbe unique (à champ croissant ou décroissant) fournie par l'appareil d'observation soit bien définie, faire agir ce procédé *à intensité décroissante* après chaque variation du champ magnétisant ; en effet, chacun de ces procédés revient à superposer à l'action du champ magnétisant celle d'un champ magnétique auxiliaire (longitudinal ou transversal, alternatif ou oscillant) ; l'aimantation varie constamment sous l'action du champ variable résultant, et le magnétomètre indique seulement une moyenne. Si on fait agir constamment l'action auxiliaire à intensité constante, on retrouve cette même valeur quand le champ magnétisant passe par une valeur donnée en croissant ou en décroissant ; mais la courbe unique que l'on obtient ainsi pour représenter l'indication du magnétomètre en fonction du champ magnétisant n'a pas de signification précise.

D'autre part, l'expérience montre que, pour qu'une de ces actions électromagnétiques réduise complètement l'hystérésis, il faut qu'elle atteigne une certaine amplitude dans sa variation. Il faut donc, pour l'application correcte d'un des procédés électromagnétiques de réduction de l'hystérésis, le faire agir, après chaque variation du champ magnétisant, d'abord avec une amplitude supérieure à l'amplitude limite nécessaire pour la réduction complète, puis en réduisant progressivement cette amplitude jusqu'à 0. A mesure qu'on réduit l'amplitude, l'indication du magnétomètre augmente et arrive à une

limite bien déterminée pour chaque valeur du champ magnétisant (et, comme on le verra plus loin, pour chaque procédé de réduction). Naturellement cette variation dans l'indication du magnétomètre s'atténue à mesure qu'on approche de la saturation magnétique, c'est-à-dire à mesure que les manifestations de l'hystérésis perdent de leur importance relative. La courbe obtenue par MM. Franklin et Clarke est ainsi correcte, tandis que celles obtenues par MM. Gerosa et Finzi ne correspondent pas à des conditions définies, le courant alternatif qu'ils employaient parcourant constamment le noyau magnétique, avec une intensité fixe.

Cette remarque générale va permettre d'alléger ce que nous avons à dire pour chaque procédé.

Action d'un champ alternatif d'amplitude décroissante, de même direction que le champ magnétisant. — On doit, comme je viens de l'indiquer, donner d'abord, après chaque variation du courant magnétisant, une certaine intensité au courant alternatif qui produit le champ auxiliaire, puis réduire progressivement jusqu'à 0 cette intensité. Il y a à ce sujet deux sortes d'indications à donner :

1° Comment varie l'indication du magnétomètre quand on réduit ainsi progressivement l'amplitude du champ alternatif? Cherchons d'abord à nous en rendre compte : le champ résultant est un champ alternatif symétrique par rapport à la valeur du champ magnétisant H ; l'aimantation, qui suit parfaitement les variations du champ

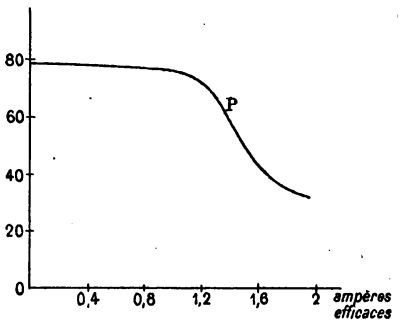


Fig. 1.

de cet ordre de fréquence (70 à 80), décrit des cycles rapides. La courbe d'aimantation qu'on obtient une fois l'hystérésis réduite est constamment concave vers l'axe des H ; il en résulte que la valeur

moyenne de l'aimantation correspondant à ces cycles est inférieure à la valeur réelle correspondant au champ H (cette moyenne est évidemment très complexe, les différentes parties du cycle étant parcourues avec des vitesses différentes) ; donc, quand on réduit l'amplitude du champ alternatif, l'indication du magnétomètre doit tendre vers une valeur limite maximum. C'est bien ce qu'indique l'expérience. Par exemple, la courbe de la *fig.* 1 représente les indications observées au magnétomètre lorsqu'un ressort pour chronomètre, non trempé, est soumis à l'action d'un champ magnétisant $H = 8^{\text{gauss}},5$ et qu'on superpose à ce champ un champ alternatif produit par un courant dont l'intensité efficace est portée en abscisses en ampères ; si i désigne l'intensité du courant alternatif en ampères, le champ correspondant est $\frac{4\pi n_1 i}{10} = 13,47 . i$, c'est-à-dire que, si on admet pour le courant une variation sinusoïdale, à une intensité efficace de 1 ampère correspond une amplitude du champ alternatif égale à $\pm$ 19 gauss. L'amplitude nécessaire pour obtenir la réduction complète de l'hystérésis est d'ailleurs plus faible que les plus grandes amplitudes réalisées dans l'expérience actuelle ; elle correspond, pour cet échantillon, à une intensité efficace de $1^{\text{amp}},3$, c'est-à-dire au point P de la courbe, point pour lequel la valeur moyenne de l'aimantation est déjà notablement différente de la valeur limite obtenue en faisant décroître jusqu'à 0 l'amplitude du champ alternatif.

2° Quelle est la valeur de l'amplitude maximum du champ alternatif nécessaire pour que la réduction de l'hystérésis soit complète? Cette valeur dépend de la nature du noyau magnétique, elle est le plus faible pour le fer doux, doit être plus grande pour le fer dur ou l'acier, enfin plus grande encore pour l'acier trempé. D'ailleurs, aux fréquences employées et pour ces substances ferromagnétiques, la localisation superficielle du champ alternatif, sans être très intense, est cependant assez accusée, et, pour que l'amplitude nécessaire soit atteinte jusqu'au centre de la tige, il faut donner au courant alternatif une intensité d'autant plus grande que la tige est plus épaisse. Voici quelques exemples de l'intensité efficace nécessaire ; on en déduirait l'amplitude du champ d'après l'indication déjà donnée qu'un courant sinusoïdal de 1 ampère efficace donnerait un champ alternatif d'amplitude $\pm$ 19 gauss : fil de fer très doux de $\frac{1}{2}$ mil-

limètre de diamètre, $0^{amp},65$; ressort pour chronomètre, non trempé, de $\frac{1}{10}$ de millimètre d'épaisseur et $\frac{3}{10}$ de millimètre de largeur, $1^{amp},3$; tige d'acier de $\frac{7}{10}$ de millimètre, $1^{amp},45$; ressort pour chronomètre trempé dur, avec $2^{amp},1$ la réduction de l'hystérésis est encore incomplète.

On peut, en utilisant dans les conditions indiquées un champ alternatif d'amplitude inférieure à l'amplitude nécessaire à la réduction complète, observer la réduction relative, qui est naturellement

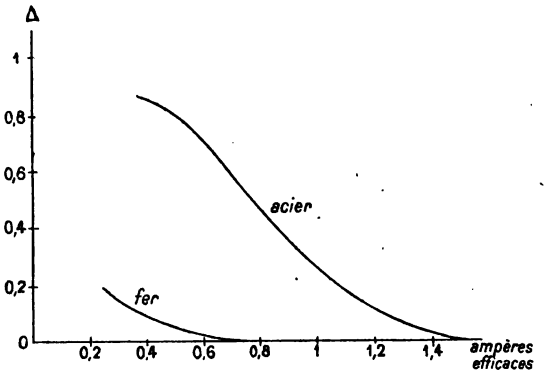


Fig. 2.

d'autant plus forte que l'amplitude réalisée est plus grande ; la *fig.* 2 donne deux exemples de cette réduction partielle, pour la tige de fer de $\frac{1}{2}$ millimètre et la tige d'acier de $\frac{7}{10}$ de millimètre ; les abscisses représentent l'intensité maximum du courant alternatif, réduite ensuite à 0 ; les ordonnées Δ sont obtenues ainsi : l'échantillon est aimanté (par un champ d'environ + 43 gauss, qu'on réduit progressivement à 0) ; son aimantation rémanente est mesurée par une indication δ du magnétomètre ; on fait agir le champ alternatif d'amplitude décroissante ; l'aimantation rémanente est partiellement détruite, et l'indication devient δ′ ; on fait ensuite les mêmes expériences, mais avec une aimantation en sens inverse ; les indications correspondantes sont δ_1 et δ'_1 (comptées, comme les précédentes, à partir de l'extrémité de l'échelle) ; l'aimantation rémanente primitive

est mesurée par $\delta - \delta_1$ et celle qui subsiste par $\delta' - \delta'_1$; les ordonnées sont les valeurs de $\Delta = \frac{\delta' - \delta'_1}{\delta - \delta_1}$.

En résumé, ce procédé de réduction de l'hystérésis est d'un emploi très commode, puisque, en disposant d'une bobine auxiliaire à nombre de spires suffisant, on peut obtenir une courbe unique en utilisant un courant alternatif peu intense, pour le fer et l'acier, même quand les échantillons sont assez épais. Les courbes A des *fig.* 3 à 7 ont été obtenues par ce procédé.

Action d'un courant alternatif d'intensité décroissante parcourant le noyau magnétique. — Là encore il faut, pour obtenir des résultats corrects, donner à ce courant, après chaque variation du champ magnétisant, d'abord une intensité supérieure à une certaine valeur dépendant de l'échantillon étudié, puis faire décroître cette intensité jusqu'à 0. Le champ magnétique auxiliaire est transversal ; il diminue l'action du champ magnétisant longitudinal ; aussi, comme dans le cas précédent, l'indication du magnétomètre croît pendant que décroît l'intensité du courant alternatif. Par exemple, pour un fil de fer de $\frac{1}{2}$ millimètre de diamètre, la déviation du magnétomètre est 48,5 quand le courant alternatif a une intensité efficace de $1^{amp},9$, nécessaire pour que la réduction de l'hystérésis soit complète ; elle devient 70 quand on a réduit à 0 cette intensité.

Pour l'application de ce procédé de réduction, les échantillons, assez épais pour être rigides, étaient placés dans un tube de verre dont la partie inférieure était occupée par une tige de laiton à section bien droite ; la tige magnétique reposait par une extrémité sur le laiton, cette extrémité étant celle qui agissait sur le magnétomètre ; les communications étaient établies, d'une part, par le haut, à l'autre extrémité de la tige magnétique, d'autre part, par le bas, à l'extrémité de la tige de laiton ; le contact de ces deux tiges fermait le circuit, et l'extrémité utile de la tige magnétique n'était ainsi pas altérée par l'établissement des communications. Les échantillons plus minces étaient repliés à l'extrémité d'un tube de verre ; cette partie repliée était l'extrémité agissante, et les communications étaient établies par le haut, aux deux extrémités de l'échantillon.

Je n'ai obtenu des courbes uniques, c'est-à-dire une réduction complète, par ce procédé, que pour des échantillons de fer ; par exemple, pour un fil de fer assez doux de $0^{mm},22$ de diamètre, la

réduction de l'hystérésis n'était complète qu'à partir d'une intensité efficace de $1^{amp},7$; pour un fil de fer de $0^{mm},5$, à partir de $1^{amp},9$; la réduction n'était pas tout à fait complète avec $2^{amp},7$ pour un fil d'acier non trempé, et encore moins pour des échantillons d'acier trempé.

Il est facile de s'expliquer qu'il faille un courant assez intense pour obtenir ainsi la réduction de l'hystérésis : ce qui importe pour que cette réduction soit opérée en un certain point du noyau est que l'amplitude du champ magnétique transversal atteigne en ce point une intensité suffisante ; or, en un point d'un noyau cylindrique, le champ transversal est dû seulement au courant traversant le cercle qui a pour rayon la distance a de ce point à l'axe, ce courant agissant comme s'il était concentré sur l'axe. Si la densité du courant est uniforme dans toute la section et égale à i, ce champ transversal est $2\pi ai$; il est donc très faible au voisinage de l'axe ; dans le cas d'un courant alternatif, cette variation est encore accentuée par la localisation superficielle du courant ; il faudra donc que ce courant soit intense pour que l'hystérésis soit réduite jusqu'en des points voisins de l'axe.

Ce procédé est donc d'une application moins facile que le précédent ; il faut remarquer aussi que, pour les échantillons minces, un courant trop fort pourrait modifier leurs propriétés magnétiques, à cause de l'échauffement produit. Les courbes B des *fig.* 4 et 7 ont été obtenues par ce procédé.

Action d'un champ magnétique oscillant de même direction que le champ magnétisant. — La recherche de détecteurs des ondes électromagnétiques a conduit M. Rutherford à étudier l'action désaimantante, signalée déjà par lord Rayleigh, des oscillations électriques sur des aimants permanents. M. Marconi et M. Tissot [1] ont augmenté la sensibilité de cette méthode en plaçant dans un champ magnétique variable le noyau magnétique sur lequel agissent les oscillations électriques. M. Tissot a pensé que c'était l'hystérésis magnétique qui était affectée par l'action des oscillations. Étudiant ce phénomène à un autre point de vue, j'ai montré que la suppression de l'hystérésis pouvait même être complète, à condition d'employer des noyaux minces dans lesquels le champ oscillant, qui tend à se

---

[1] Rutherford, *Phil. Trans.*, t. CLXXXIX, p. 1 ; 1897 ; — Marconi, *Proc. Roy. Soc. London*, t. LXX, p. 341 ; 1902 ; — C. Tissot, *Soc. fr. de Physique*, 20 février 1903, ou *J. de Phys.*, 4e série, t. II, p. 342 ; 1903 ; — *Soc. fr. de Physique*, 15 janvier 1904.

localiser à la surface, puisse pénétrer jusqu'à la partie centrale avec une intensité suffisante.

Avec la disposition décrite ci-dessus, on peut soumettre le noyau magnétique étudié au champ magnétisant produit par le courant continu, et, en même temps, à un champ magnétique oscillant. Je supposerai dans tout ce qui suivra que la bobine de Ruhmkorff est alimentée par un courant alternatif (fréquence 70 à 80), de manière que les phénomènes produits dans le secondaire soient les mêmes dans les deux sens; quand la bobine est alimentée par un courant intermittent obtenu avec les interrupteurs ordinaires, cette symétrie n'existe pas, et il se produit des phénomènes complexes sur lesquels il est inutile d'insister ici.

Le mode d'action du champ oscillant présente des particularités analogues à celles signalées pour les actions précédentes : Pour que la réduction de l'hystérésis soit complète, il faut donner à la distance des deux pôles de l'interrupteur à étincelles intercalé sur le circuit parcouru par les oscillations une certaine valeur (quelques dixièmes de millimètre pour le fer, davantage pour l'acier), ce qui correspond à une certaine amplitude initiale de chaque groupe d'oscillations. Lorsqu'on donne à la distance explosive une valeur plus faible, la réduction de l'hystérésis est incomplète et la réduction relative est d'autant plus faible que la distance explosive est plus petite [1]. Si, maintenant fixe le champ magnétisant, on donne d'abord à la distance explosive une valeur assez grande pour réduire l'hystérésis, puis qu'on diminue progressivement cette distance jusqu'à 0 (au moyen d'une vis micrométrique), l'indication du magnétomètre augmente et prend une valeur bien déterminée; cette variation de l'indication du magnétomètre est d'ailleurs plus faible que pour les actions précédentes; et, en effet, à cause de l'intermittence des décharges et de leur amortissement, le temps pendant lequel l'amplitude du champ oscillant est voisine de son maximum est une faible fraction du temps total; l'indication du magnétomètre, qui correspond à une moyenne, doit donc être peu différente de l'indication limite.

Au moment où on a réduit à 0 la distance explosive, il existe dans

---

[1] M. Tissot a constaté (*Soc. fr. de Physique*, 15 janvier 1904) que les détecteurs magnétiques sont sensibles à l'intensité maxima; cela s'accorde bien avec les observations que je viens de rapporter; on peut ajouter qu'à partir de l'intensité maxima correspondant à la réduction complète de l'hystérésis la sensibilité des détecteurs doit rester constante; mais il est probable que l'intensité n'atteint pas ces valeurs dans les expériences de télégraphie sans fil.

le circuit parcouru d'abord par le courant oscillant un courant alternatif (celui du secondaire de la bobine de Ruhmkorff formant alors circuit fermé) ; j'ai constaté que, lorsqu'on supprime ce courant, en supprimant le primaire, l'indication du magnétomètre ne change pas du tout. Cela était d'ailleurs à prévoir : ce courant alternatif a la même fréquence que le primaire et une intensité très faible ; lorsqu'on le fait agir sur un noyau magnétique dont l'aimantation actuelle correspond à une hystérésis considérable, il ne provoque qu'une modification insignifiante de l'aimantation ; il est donc naturel qu'il n'ait aucune action sensible, quand cette action est consécutive à l'action énergique du champ oscillant.

La réduction de l'hystérésis par ce procédé, comme d'ailleurs par tous, est le plus facile pour le fer doux ; la distance explosive doit être plus grande pour l'acier, surtout trempé, à épaisseur égale. L'épaisseur des échantillons a en effet ici une grande influence, la localisation superficielle du champ oscillant étant très accentuée à cette fréquence (environ 10^6) ; c'est ainsi qu'il m'a été impossible d'obtenir par ce procédé la réduction complète de l'hystérésis pour une tige de bon fer doux de $1^{mm},5$ de diamètre.

En résumé, ce procédé de réduction est très énergique, mais ne s'applique qu'à des échantillons minces ; j'ai, en l'appliquant, obtenu la réduction complète de l'hystérésis pour de nombreux échantillons : fil de fer de $0^{mm},22$, fil d'acier de $0^{mm},3$, ressorts pour chronomètre de $0^{mm},1$ d'épaisseur et $0^{mm},2$ à $0^{mm},3$ de largeur non trempés ou trempés (à l'huile ou à l'eau), fer électrolytique, etc. Les courbes des *fig.* 3 à 6 ont été obtenues ainsi.

Action d'un courant oscillant parcourant le noyau magnétique. — Le dispositif producteur du courant oscillant est le même que pour les expériences précédentes, et la fréquence un peu plus grande, à cause de la composition différente du circuit parcouru par les oscillations ; le noyau était intercalé dans ce circuit comme il a été dit à propos de l'action d'un courant alternatif.

L'application du procédé conduit d'ailleurs aux mêmes remarques que pour le précédent : Il faut, pour un échantillon donné, une certaine distance explosive pour obtenir la réduction complète de l'hystérésis ; cette distance doit être plus grande pour l'acier, surtout trempé, que pour le fer ; elle doit aussi être d'autant plus grande que le noyau est plus épais. Si on fait agir constamment le courant oscillant, l'indication du magnétomètre obtenue pour une valeur

déterminée du champ magnétisant correspond seulement à une moyenne, à cause de l'action du champ magnétique transversal oscillant dû au passage du courant oscillant dans le noyau; il faut, pour avoir une indication bien déterminée, faire décroître progressivement la distance explosive, à partir d'une valeur suffisante, jusqu'à 0. Le courant alternatif secondaire qui subsiste alors n'a, comme dans le cas précédent, aucune influence.

J'ai obtenu par ce procédé la réduction complète de l'hystérésis pour les mêmes échantillons que par le précédent.

Actions mécaniques. — C'est un fait bien connu que les actions mécaniques, les vibrations par choc ou par traction, réduisent l'hystérésis magnétique; les expériences à ce sujet sont faciles lorsqu'on les fait porter sur l'aimantation rémanente. Les expériences précises dans lesquelles on suit l'action d'un champ magnétique croissant ou décroissant en favorisant son action par des vibrations sont plus délicates, parce que le noyau magnétique, placé à l'intérieur d'une longue bobine, est moins accessible, et qu'il faut lui redonner, dans toute la série d'expériences, une même position par rapport aux appareils de mesure. Aussi, malgré je dirais presque la banalité du sujet, on trouve peu d'observations de ce genre. M. Warburg, dans le mémoire même où il étudiait, pour la première fois, l'hystérésis magnétique, montra que les courbes ascendante et descendante sont plus rapprochées quand on favorise l'action du champ par des secousses (1); mais la réduction de l'hystérésis était incomplète. MM. Franklin et Clarke n'ont pas pu réduire complètement par des vibrations longitudinales l'hystérésis de la tige de fer pour laquelle ils avaient obtenu ce résultat par l'action d'un champ alternatif (*loc. cit.*). Je n'ai trouvé que dans les travaux de M. Ewing (2) l'indication d'une courbe d'aimantation à peu près réversible obtenue par des actions mécaniques.

Pour moi, j'ai fait à ce sujet un grand nombre d'essais par différents procédés; celui qui m'a donné les meilleurs résultats est le suivant: la tige étudiée, assez grosse pour être bien rigide, est placée dans un tube de verre ou de laiton sur le fond duquel elle repose; après chaque variation du champ magnétisant, la tige est tirée vers le haut et projetée vivement contre le fond du tube. J'ai pu

(1) E. Warburg, *Wied. Ann.*, t. XIII, p. 141; 1880.
(2) *Loc. cit.*, et *Magnetic Induction in Iron*, p. 113.

obtenir ainsi la réduction à peu près complète de l'hystérésis pour deux tiges de fer doux de $1^{mm},5$ et $2^{mm},4$ de diamètre et environ 70 centimètres de longueur ; pour ces deux tiges, les courbes ainsi obtenues à champ croissant et décroissant sont tout à fait confondues pour les valeurs du champ supérieures à 15 ou 18 gauss et ne laissent entre elles, pour les valeurs plus faibles, qu'un très petit intervalle. Pour tous les autres échantillons de fers ou d'aciers, les actions mécaniques n'ont produit qu'une réduction incomplète de l'hystérésis.

Comparaison des résultats obtenus par les différents procédés. — Ayant, par l'étude particulière de ces procédés de réduction de l'hystérésis, déterminé les conditions dans lesquelles ils conduisent à une réduction complète, j'ai effectué des expériences de comparaison en appliquant successivement les différents procédés à un même échantillon laissé pendant toutes les expériences dans une position fixe par rapport à la bobine magnétisante et au magnétomètre.

Pour chaque noyau magnétique étudié ainsi, on déterminait d'abord la courbe d'aimantation hystérétique ordinaire, puis, dans un ordre quelconque, les courbes obtenues par l'action auxiliaire d'un champ alternatif décroissant (je l'appellerai la courbe A), par celle d'un courant alternatif décroissant parcourant le noyau (B), d'un champ oscillant d'amplitude initiale décroissante (C), d'un courant oscillant d'amplitude initiale décroissante parcourant le noyau (D) ; puis la courbe ordinaire était déterminée de nouveau, pour qu'on pût constater que les propriétés magnétiques du noyau n'avaient pas été modifiées par ces traitements.

Les procédés utilisant les actions oscillantes ne donnaient qu'une réduction très incomplète pour les deux tiges pour lesquelles a réussi l'action des chocs, à cause de l'épaisseur trop grande de ces tiges ; j'ai donc étudié ces deux tiges en déterminant pour chacune d'elles la courbe ordinaire, les courbes A et B et la courbe obtenue par l'action des chocs.

Le *résultat général* important est que les courbes réversibles obtenues par les différents procédés pour un même noyau magnétique ne coïncident pas ; elles ont le même aspect, montent rapidement à partir de l'origine et n'ont pas de point d'inflexion, mais sont nettement différentes (*fig.* 3 à 7, dont j'indiquerai plus loin le détail) ; il est à remarquer qu'elles s'échelonnent dans le même ordre pour tous les échantillons étudiés : la plus élevée est C (champ oscillant),

peu au-dessous est D (courant oscillant), puis B (courant alternatif) et enfin A (champ alternatif). J'ai vérifié ce fait de plusieurs façons : en déterminant plusieurs fois chaque courbe et entremêlant l'application des différents procédés ; ou encore en maintenant constante une valeur donnée du champ magnétisant et en appliquant successivement les différents procédés de réduction, dans un ordre quelconque : on retrouve les mêmes valeurs que celles obtenues en déterminant les courbes.

Ces dernières expériences montrent que si, ayant fait agir un des procédés de réduction et obtenu la valeur correspondante de l'aimantation, on fait agir un autre procédé, sans modifier le champ magnétisant, on obtient la valeur qui correspond à ce deuxième procédé, et cela quel que soit l'ordre des expériences ; si l'on passe de C à A, l'aimantation décroît ; de A à C, elle croît. Ainsi l'état magnétique auquel est amené un noyau magnétique, pour un champ magnétisant donné, par l'application de l'un quelconque des procédés de réduction de l'hystérésis, est bien déterminé, quel que soit l'état magnétique initial.

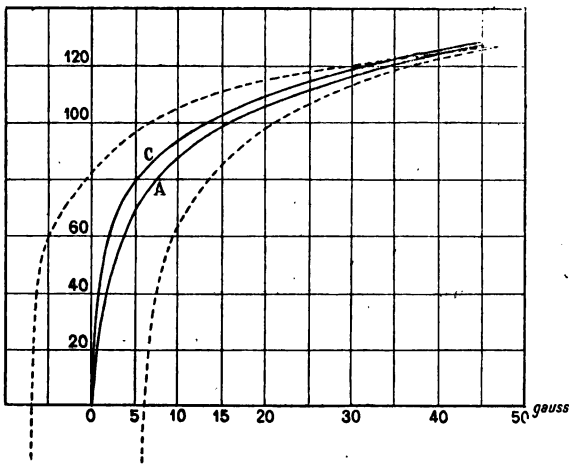


Fig. 3. — Fil de fer.

La *fig.* 3 représente les courbes obtenues avec un fil de fer de $0^{mm},22$ de diamètre, pour lequel j'ai obtenu les courbes A, B, C, D bien réversibles ; on a figuré seulement, avec la courbe hystérétique ordinaire, les courbes extrêmes A et C ; les deux autres

sont comprises entre elles ; voici, par exemple, pour la valeur $4^{gauss},77$ du champ magnétisant, les déviations du magnétomètre correspondant aux quatre procédés :

A	B	C	D
68,6	72,2	78	75,5

Dans les différentes figures, les ordonnées sont en unités arbitraires et représentent les déviations du magnétomètre ; mais les abscisses représentent les valeurs en gauss du champ magnétisant.

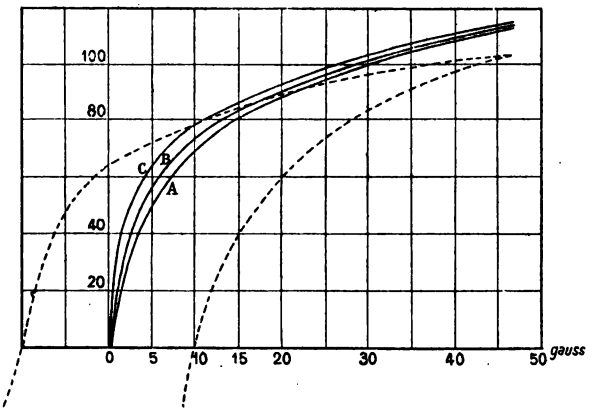


Fig. 4. — Fil d'acier.

La *fig.* 4 se rapporte à un fil d'acier de $0^{mm},3$; on a représenté les courbes A, B, C ; B a donné en réalité à champ croissant et décroissant deux courbes légèrement différentes, mais qui seraient à très peu près confondues sur le graphique ; D, qui était bien réversible, est très peu au-dessous de C ; voici les déviations du magnétomètre correspondant à $2^{gauss},6$:

A	B	C	D
33,2	44	51,6	51

Les courbes de la *fig.* 5 se rapportent à un ressort pour chronomètre, trempé à l'huile, de $0^{mm},1$ d'épaisseur ; on n'a figuré que A et C ; D, bien réversible, est un peu au-dessous de C, comme l'indique l'exemple numérique suivant. L'action d'un courant alternatif parcourant le ressort n'a pas réduit complètement l'hystérésis. Valeurs

de la déviation pour un champ de $4^{gauss},8$:

A	C	D
33,8	45	43,4

Enfin les courbes de la *fig.* 6 se rapportent à un dépôt électrolytique de fer effectué sur une tige de laiton (bain, 20 grammes d'oxalate double de fer et d'ammonium et 8 grammes d'oxalate d'ammonium par litre) ; l'action d'un courant alternatif n'a pas non plus

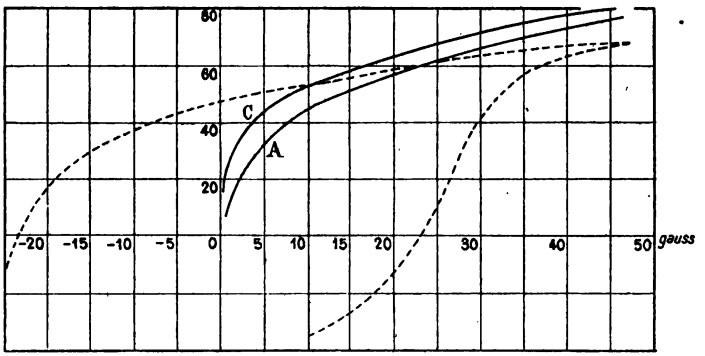


Fig. 5. — Ressort pour chronomètre, trempé.

réduit complètement l'hystérésis ; mais les courbes A, C, D sont bien réversibles ; on a représenté seulement encore les courbes extrêmes

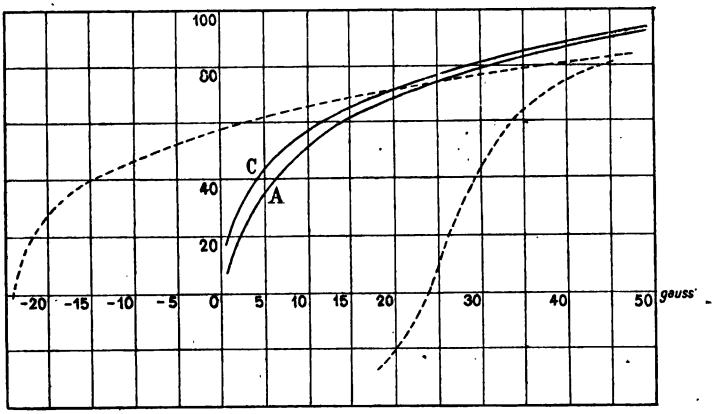


Fig. 6. — Fer électrolytique.

A et C, pour ne pas compliquer la figure, et voici un exemple des

déviations, pour un champ de $2^{gauss},6$:

A	C	D
27	35	33

Ces figures suffisent à donner l'aspect des résultats, et je ne reproduirai pas les résultats obtenus dans plusieurs autres expériences de comparaison. On peut remarquer que les différences entre les courbes s'atténuent, comme il est naturel, à mesure que le noyau approche de la saturation magnétique.

Comparaison de la réduction par les actions mécaniques et électromagnétiques. — J'ai dit plus haut que je n'avais obtenu la réduction à peu près complète de l'hystérésis par les actions mécaniques que pour deux tiges de fer doux de $1^{mm},5$ et $2^{mm},4$ de diamètre. L'épaisseur de ces tiges rendait très incomplète la réduction par les actions oscillantes, mais j'ai pu obtenir pour chaque tige les courbes A et B bien réversibles. Comme pour les fils de fer dont il a été parlé plus haut, B est, pour les deux tiges, un peu au-dessus de A, et cette différence a été contrôlée en appliquant successivement, pour un même champ magnétisant, les deux procédés; d'ailleurs, pour les deux tiges, la courbe A coïncide avec la courbe obtenue par action mécanique sur la partie réversible de celle-ci et s'intercale exactement entre les deux branches très rapprochées de cette courbe pour

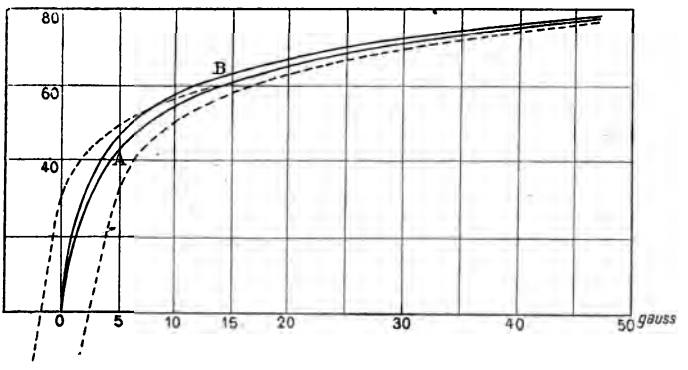


Fig. 7. — Tige de fer doux.

les valeurs plus faibles du champ. On peut donc dire que, pour ces deux tiges, la réduction de l'hystérésis par l'action d'un champ alternatif décroissant ou par les actions mécaniques conduit aux

mêmes valeurs limites de l'aimantation ; mais il reste vrai, pour ces tiges comme pour tous les échantillons étudiés, que tous les procédés de réduction de l'hystérésis ne conduisent pas aux mêmes valeurs limites.

La *fig.* 7 représente pour la tige de $1^{mm},5$ la courbe hystérétique ordinaire, montrant, par la faiblesse du champ coercitif, qu'il s'agissait d'un bon fer doux, et les courbes A et B ; quant à la courbe correspondant aux actions mécaniques, elle serait sur le graphique confondue avec A, comme on pourra en juger par les nombres suivants, donnant, pour les mêmes valeurs du champ magnétisant H, les déviations du magnétomètre correspondant aux courbes A et B, et aux courbes obtenues à champ croissant et décroissant par l'action des chocs.

	H (en gauss).	2,6	4,8	7,8	13,8	32,4	48
	A.	33,4	44,5	53	60,4	71,8	78
	B.	36,6	47,4	55,8	62	73	79,2
Chocs	champ croissant . .	32,6	43,3	52	60,1	71,6	78
	» décroissant.	34,6	45,8	53,4	60,8		

Pour l'autre tige, les résultats sont tout à fait analogues à ceux-ci.

Comparaison de l'aimantation obtenue en préparant des dépôts électrolytiques de fer dans un champ magnétique et en réduisant par les procédés précédents l'hystérésis du fer électrolytique. — Lorsqu'on prépare un dépôt électrolytique de fer dans un champ magnétique uniforme, le dépôt obtenu a une aimantation d'autant plus forte que le champ est plus intense [1], et la courbe qui représente l'aimantation ainsi réalisée en fonction du champ a la même forme que celles des *fig.* 3 à 7. En particulier les courbes de la *fig.* 6 correspondent à du fer électrolytique préparé exactement dans les mêmes conditions que ceux étudiés dans le travail que je viens de citer. Si, pour comparer ces courbes, dans lesquelles l'aimantation est mesurée en unités arbitraires, on fait coïncider deux points de la courbe des dépôts avec les deux points correspondant aux mêmes valeurs du champ pour une des courbes A, C, D, on obtient une bonne coïncidence, mais aussi bien avec l'une qu'avec l'autre de ces courbes qui, en somme, diffèrent peu. Tout ce qu'on peut donc dire, c'est que la courbe d'aimantation des dépôts est tout à fait analogue aux courbes

[1] *J. de Phys.*, 3e série, t. X, p. 123; 1901.

obtenues en réduisant l'hystérésis d'un dépôt une fois formé. Il faudrait, pour pousser plus loin la comparaison, effectuer des expériences où l'aimantation serait mesurée en valeur absolue, qu'il est très difficile de faire avec précision dans le cas des dépôts obtenus dans un champ magnétique.

On peut résumer les résultats obtenus dans ce travail en disant : *les courbes d'aimantation réversibles obtenues en supprimant par différents procédés ce qu'on appelle l'hystérésis magnétique ont la même allure et sont peu différentes, mais sont certainement différentes ; elles s'échelonnent dans le même ordre pour les échantillons de fer et d'acier étudiés ; pour le fer doux, l'action des chocs paraît la même que celle d'un champ magnétique alternatif décroissant, c'est-à-dire de celui des procédés électromagnétiques de réduction qui donne les courbes les plus basses.*

Ces résultats semblent nécessiter une grande complexité des phénomènes qu'on rassemble habituellement sous le nom de phénomènes d'hystérésis magnétique. Si, comme le pense M. Ewing, l'hystérésis magnétique provenait seulement des actions *magnétiques* réciproques des aimants particulaires, il est vraisemblable que les différents procédés de réduction de l'hystérésis donneraient le même résultat. Une partie importante des phénomènes d'hystérésis magnétique provient sans doute de ces actions magnétiques réciproques ; mais il est probable qu'une partie dépend des actions d'ordre non magnétique, qui causent une hystérésis plus ou moins sensible dans les effets de presque toutes les actions physiques sur les corps solides.

On doit en conclure aussi que la possibilité d'une définition expérimentale d'une courbe normale d'aimantation devient fort douteuse, au moins pour les substances ferromagnétiques ordinaires.

État actuel de la télégraphie sans fil ;

Par M. le capitaine Ferrié [1].

La télégraphie sans fil, née seulement en 1896, n'a fait aucun progrès réel depuis 1901, bien que son emploi soit très répandu dans

[1] Séance du 8 avril 1904.

toutes les marines du monde. Il semble que, tout comme la téléphonie, elle soit arrivée à son maximum de praticabilité presque aussitôt après son apparition. Les idées théoriques que l'on est parvenu à grand'peine à appuyer sur des faits précis viennent malheureusement confirmer cette manière de voir. Les recherches et expériences méthodiques sont d'ailleurs d'une exécution difficile, en raison de la nécessité de disposer dans ce but des stations complètes communiquant à grande distance.

Pour exposer l'état actuel de la question, nous examinerons successivement les diverses phases de la transmission d'un télégramme hertzien, c'est-à-dire : l'émission des signaux, la transmission de l'énergie à travers l'espace et enfin la réception des signaux.

Émission des signaux. — L'émission se fait en produisant des oscillations électriques énergiques dans un conducteur isolé sur toute sa longueur (*antenne*), sauf à la partie inférieure qui est mise à la terre. L'antenne présente la plus grande analogie avec un tuyau sonore ouvert à une extrémité (mise à la terre) et fermé à l'autre extrémité (partie supérieure) ; on peut la mettre en vibration hertzienne par trois procédés : 1° excitation directe ; 2° excitation par induction ; 3° excitation par dérivation. Ces trois procédés offrent une grande ressemblance avec ceux que l'on emploie pour un tuyau sonore : 1° insufflation directe de l'air ; 2° mise en vibration par l'approche d'un diapason convenablement accordé ; 3° mise en vibration par le contact du même diapason avec un point convenable du tuyau.

L'*excitation directe* est obtenue en intercalant sur l'antenne, au voisinage du sol, un oscillateur relié à une source d'électricité à haute tension. C'est la décharge du condensateur formé, d'une part, par l'antenne isolée du sol et, d'autre part, par le sol, qui donne naissance aux oscillations électriques.

La source d'électricité à haute tension peut être constituée par une bobine d'induction (*fig.* 1), ou par un transformateur industriel (*fig.* 1), ou par un transformateur de Tesla (*fig.* 2), ou par un arc chantant (*fig.* 3).

Les oscillations produites sont plus ou moins amorties, suivant le procédé employé ; le maximum d'amortissement est donné par l'emploi direct de la bobine d'induction, et le minimum par l'arc chantant, qui produit des oscillations entretenues. Ce dernier procédé n'est encore que théorique et n'a fait l'objet d'aucune application

pratique, à notre connaissance. L'énergie qu'il permet de mettre en jeu est évidemment très limitée.

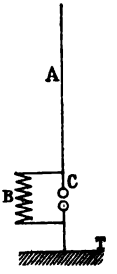


Fig. 1. — A, antenne. — C, oscillateur. — B, bobine d'induction ou transformateur industriel. — T, terre.

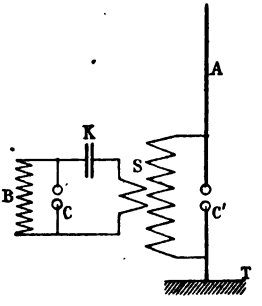


Fig. 2. — A, antenne. — C, C', oscillateurs. T, terre. — S, transformateur Tesla. — K, condensateur. — B, bobine d'induction ou transformateur industriel.

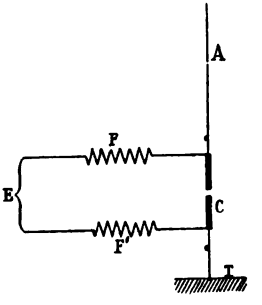


Fig. 3. — A, antenne. — C, arc (charbon ou mercure, etc.). — T, terre. — FF', bobine d'impédance. — E, source d'énergie, basse pression.

L'*excitation par induction* (Braun, Marconi) est obtenue en produisant en circuit fermé des oscillations de période déterminée et convenablement choisie, et en faisant agir celles-ci par induction sur l'antenne mise à la terre, au moyen d'un transformateur Blondlot, genre Tesla.

On fait aussi usage, dans ce cas, soit de bobines d'induction (*fig.* 4), soit de transformateurs industriels employés directement (*fig.* 4) ou avec l'intermédiaire d'un autre transformateur Tesla convenablement choisi (*fig.* 5), soit encore d'un arc chantant employé directement (*fig.* 6) ou avec l'intermédiaire d'un autre Tesla (signe semblable à la *fig.* 5).

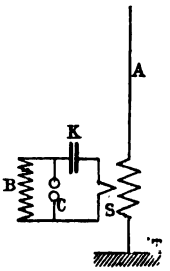


Fig. 4. — A, antenne. — T, terre. — S, transformateur Tesla. — K, condensateur. C, oscillateur. — B, bobine d'induction ou transformateur industriel.

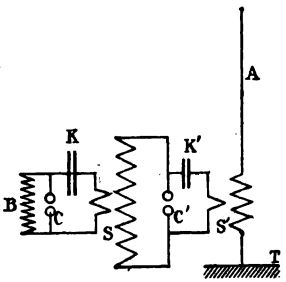


Fig. 5. — A, antenne. — T, terre. — K, K', condensateurs. — C, C', oscillateurs. — SS', transformateur Tesla. — B, transformateur industriel.

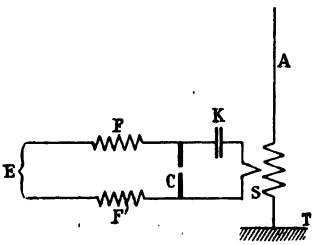


Fig. 6. — A, antenne. — T, terre. — S, transformateur Tesla. — K, condensateur. — C, arc. — E, source d'énergie, basse tension. — FF', bobine d'impédance.

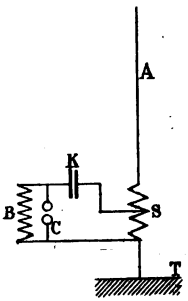


Fig. 7. — A, antenne. — T, terre. — S, transformateur Tesla à 1 seul circuit. — K, condensateur. — C, oscillateur. — B, bobine d'induction ou transformateur industriel.

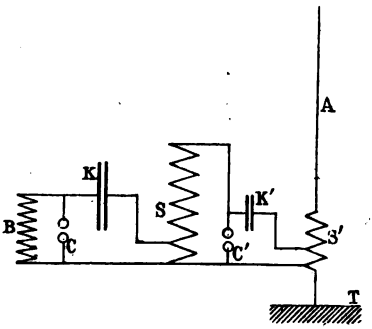


Fig. 8. — A, antenne. — T, terre. — S, S', transformateurs Tesla à 1 seul circuit. — K, K', condensateurs. — C, C', oscillateurs. — B, transformateur industriel.

Les oscillations sont encore plus ou moins amorties, suivant le procédé de production employé.

Enfin, l'*excitation par dérivation* (Slaby) se différencie de la précédente en ce que le système antenne-terre est placé en dérivation sur le circuit excitateur, comme cela est indiqué, par exemple, dans les *fig.* 7 et 8.

Quel que soit le mode d'excitation et le procédé employés, il est nécessaire de mettre les divers circuits en résonance afin d'obtenir le rendement maximum. Pour accorder le système antenne-terre avec son circuit excitateur, il suffit d'intercaler un ampèremètre thermique au voisinage du sol; la résonance est réalisée lorsque la valeur de l'intensité efficace donnée par l'instrument est maximum.

L'antenne ainsi excitée vibre en quart d'onde tout comme un tuyau fermé. Ce fait peut être démontré par un calcul approché :

Lorsqu'un conducteur est parcouru par des courants variables, l'intensité i et la tension v de ceux-ci sont liés à la résistance r, la self-induction l et la capacité g par unité de longueur, par les équations suivantes :

$$-\frac{\partial i}{\partial z} = g\,\frac{\partial v}{\partial t} \qquad\qquad -\frac{\partial v}{\partial z} = ri + l\,\frac{\partial i}{\partial t},$$

d'où l'on déduit :

$$(1) \qquad \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - rg\,\frac{\partial v}{\partial t} - lg\,\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0\,;$$

lorsque v est une fonction périodique de la forme

$$v = \mathrm{A}\sin\omega t + \mathrm{B}\cos\omega t,$$

l'équation (1) devient :

$$(2) \qquad v = \mathrm{P}e^{pz}\sin(\omega t + qz) + \mathrm{Q}e^{-pz}\sin(\omega t - qz)\,;$$

on trouve de même :

$$(3) \qquad i = \mathrm{P}'e^{pz}\sin(\omega t + qz) + \mathrm{Q}'e^{-pz}\sin(\omega t - qz)$$

avec

$$p^2 = \frac{\omega g}{2}\left(\sqrt{r^2 + \omega^2 l^2} - \omega l\right),$$

$$q^2 = \frac{\omega g}{2}\left(\sqrt{r^2 + \omega^2 l^2} + \omega l\right).$$

Dans le cas d'une antenne isolée à une extrémité et de faible longueur, on peut négliger l'amortissement et la résistance r. En remarquant que la tension est nulle pour $z = 0$ et que l'intensité est nulle à son tour pour $z = a$, a étant la longueur de l'antenne, les équations (2) et (3) deviennent :

$$v = -\frac{I_0}{Vg} \sin \frac{\pi z}{2a} \cos \frac{\pi VT}{2a} ; \tag{4}$$

$$i = I_0 \cos \frac{\pi z}{2a} \sin \frac{\pi VT}{2a}. \tag{5}$$

L'antenne est donc le siège d'une onde stationnaire, et sa longueur représente un quart d'onde.

On vérifie aisément par l'expérience : 1° que l'intensité va en décroissant du sol au sommet, en intercalant en divers points des lampes à incandescence ou un ampèremètre thermique ; 2° que la tension va en croissant du sol au sommet, au moyen d'un micromètre à étincelles. L'expérience peut être réalisée dans un laboratoire en enroulant en spirale un conducteur isolé dont une extrémité est mise à la terre.

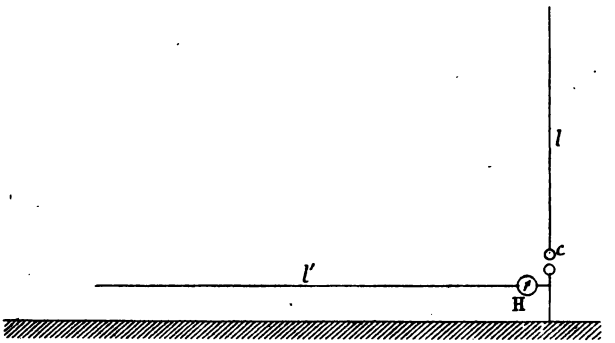


Fig. 9. — l, antenne filiforme. — c, oscillateur. — l', fil horizontal placé en dérivation sur l'antenne en un point très voisin du sol. — H, ampèremètre thermique.

Pour s'assurer ensuite expérimentalement que l'antenne vibre bien en quart d'onde et que l'intensité et la tension sont décalées de 1/4 de période, il suffit de faire propager sur un fil rectiligne l' le mouvement vibratoire produit par l'excitation directe d'une antenne, par exemple (*fig.* 9). On constate tout d'abord que le maximum d'énergie des oscillations ainsi dérivées est obtenu lorsque la longueur de l' est à peu près égale à celle de l, l'intensité étant mesu-

rée avec un ampèremètre thermique et la tension avec un micromètre à étincelles. On remarque aussi que l' contient un quart d'onde stationnaire semblable à celui de l'antenne.

Si on donne ensuite à l' une longueur triple de cette valeur, on constate qu'il contient 3/4 d'onde : les nœuds et les ventres de tension et d'intensité sont encore aisément mis en évidence par l'ampèremètre thermique et le micromètre à étincelles. Il est encore possible d'obtenir 5/4 d'onde ; mais l'énergie des ondes stationnaires est de plus en plus faible par suite de l'amortissement de production et aussi de l'amortissement de propagation. Cette méthode nous a même permis de juger d'une manière assez nette des différences d'amortissement de production d'oscillations engendrées par divers procédés.

La longueur du fil horizontal qui correspond à 1/4 d'onde du mouvement vibratoire de l'antenne n'est pas constante : elle varie, bien que faiblement, avec la distance du fil au sol. La raison semble devoir en être attribuée à ce que la vitesse de propagation le long d'un conducteur n'est pas constante, et varie avec les éléments électriques de celui-ci.

On trouve une autre présomption de ce fait en remarquant qu'une antenne, constituée au moyen de plusieurs fils réunis en quantité et écartés les uns des autres, donne naissance à des oscillations dont la longueur d'onde, mesurée sur un même fil horizontal dérivé, varie avec le nombre et l'écartement des fils. Cette variation ne doit pas être attribuée à la perturbation à l'extrémité, celle-ci n'ayant qu'une faible importance pour des conducteurs rectilignes, ainsi qu'on le constate en donnant des formes variées aux extrémités des fils et en mesurant dans chaque cas la longueur d'onde.

Il est d'ailleurs possible de mesurer avec une assez grande précision la valeur de la perturbation à l'extrémité d'un seul fil : on constitue un circuit excitateur au moyen d'un condensateur K et d'un oscillateur C (*fig.* 10), et on le fait agir par le procédé Blondlot sur un fil horizontal mis à la terre en T. Un ampèremètre thermique est intercalé, ou mis en dérivation sur une faible longueur du fil, en H. On cherche alors la longueur du fil A qui donne la résonance en 1/4 d'onde, en se servant des indications de H. Cet accord peut être fait avec une approximation du centième de la longueur totale.

On met ensuite à la terre l'extrémité de A (*fig.* 11) et on cherche à nouveau la résonance, mais en demi-onde cette fois : l'accord est

obtenu pour une longueur totale de fil double de celle du cas précédent, à 2 ou 3 centièmes près. (L'expérience doit être faite au-dessus

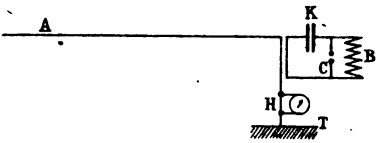


Fig. 10. — A, fil horizontal. — T, terre. — H, ampèremètre thermique. K, condensateur. — C, oscillateur. — B, bobine d'induction.

d'un sol humide, de manière à avoir une très bonne prise de terre à chaque variation de longueur.)

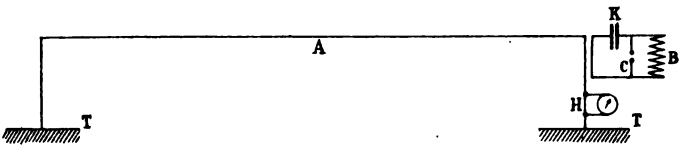


Fig. 11.

Au lieu de fermer le circuit sur la terre, on peut aussi le fermer sur lui-même et le faire résoner d'abord en demi-onde (*fig.* 12), puis

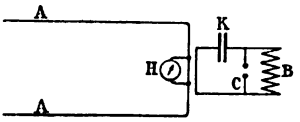


Fig. 12.

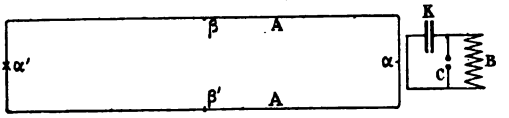


Fig. 13.

en onde complète (*fig.* 13). Les résultats obtenus sont semblables aux précédents (1).

(1) Lorsqu'on dispose d'un espace suffisant pour installer un circuit fermé d'environ 50 mètres de longueur, l'existence de l'onde stationnaire et le décalage de l'intensité et de la tension peuvent être mis en évidence avec des petites lampes à incandescence, en employant comme source d'énergie une bobine Ruhmkorff ordinaire. Les ventres d'intensité sont en α, α' (*fig.* 13) et ceux detension en β, β'. Le circuit peut d'ailleurs être coupé en β ou β' sans rien changer au phénomène. Avec une longueur de fil plus considérable, il n'y a pas de difficulté à produire deux ondes stationnaires complètes et à les mettre en évidence de la même manière. Au-dessus de deux ondes, l'amortissement devient trop considérable.

La même expérience peut être faite en enroulant le conducteur en spirale (*fig.* 14).

Si l'on intercale un condensateur K' dans le circuit fermé (*fig.* 15), la longueur

On peut donc considérer comme démontré que l'antenne vibre normalement en quart d'onde, quelle que soit sa forme et le procédé d'excitation employé. Mais, dans les antennes à grande surface, la longueur ne représente pas le 1/4 d'onde, la vitesse des propagations n'étant pas la même le long de sa surface et dans l'air. Ce fait semble constituer un inconvénient de ce genre d'antennes, qui présente d'autre part l'avantage d'augmenter considérablement le rayonnement.

Enfin, lorsque l'antenne est excitée indirectement (induction ou dérivation), on peut aisément faire apparaître les divers harmoniques;

---

de celui-ci doit évidemment être diminuée pour obtenir la résonance. Lorsque la capacité K' est faible, on constate encore nettement un maximum d'intensité en α avec deux minimums en β, β' (mais l'intensité n'est pas nulle en ces derniers points, comme cela avait lieu dans le cas de la *fig.* 13). Les maximums de tension ont lieu en β, β' et le minimum en α'.

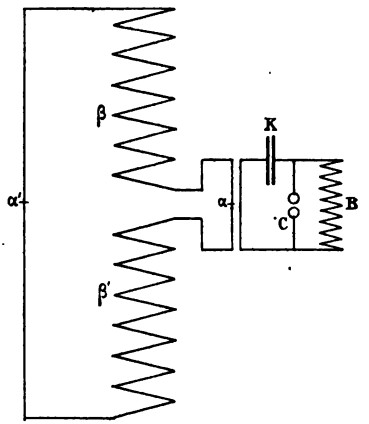


Fig. 14. — B, bobine d'induction. — C, oscillateur. — K, condensateur réglable. $\alpha\beta\alpha'\beta'$, circuit fermé. — α, α', ventres de débit. — β, β', ventres de tension.

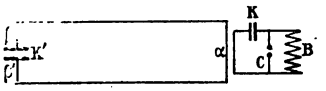


Fig. 15.

Dans le cas de plusieurs condensateurs en série, on observe des faits semblables.

Ces résultats sont d'ailleurs conformes à ceux du calcul, comme nous l'a montré M. Potier.

l'antenne vibre alors en $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$... d'onde. L'expérience peut encore être faite en laboratoire au moyen du conducteur enroulé en spirale, à laquelle on donne une longueur et un diamètre suffisants, et d'un condensateur réglable à variation continue.

Transmission de l'énergie. — De nombreuses théories ont été préparées pour expliquer le mécanisme du transport de l'énergie rayonnée par l'antenne d'émission. La théorie présentée par M. Blondel est celle qui permet d'expliquer de la manière la plus satisfaisante les faits observés, et cela en tenant compte seulement des propriétés connues des ondes hertziennes :

Le système antenne-terre est équivalent à un oscillateur de Hertz de longueur double, obtenu en ajoutant à l'antenne une partie symétrique formée de son image électrostatique par rapport à la surface de la terre, qui joue le rôle d'une surface conductrice. L'ébranlement de l'éther produit par la vibration électrique de l'antenne se propage sous la forme d'une onde hémisphérique polarisée, les lignes de force électrique étant des méridiens circulaires, et les lignes de force magnétique étant des cercles concentriques à l'antenne. Mais la forme hémisphérique n'est atteinte qu'à une certaine distance du point d'émission; au voisinage de celui-ci, on semble en droit d'admettre que tout se passe comme dans le cas du petit oscillateur rectiligne étudié par Hertz : le champ est formé d'une série de boucles qui se ferment, puis se détachent et se transportent perpendiculairement au fil de l'oscillateur tout en s'agrandissant. Les lignes de force sont donc, à une certaine distance, disposées suivant des demi-tores qui augmentent de hauteur en même temps que leur diamètre s'accroît; ces tores s'incurvent en même temps vers l'axe vertical de l'antenne et finissent par se transformer en sphères; à partir de ce moment, la propagation devient purement transversale et se fait avec la vitesse de la lumière.

L'auteur de cette théorie a également étudié la manière dont se répartissait l'énergie sur une onde sphérique à grande distance : les forces électrique et magnétique engendrées en un point par chacun des éléments de l'antenne sont respectivement concordantes en direction, et leurs résultantes ont pour valeur :

$$\int E = \int P = \frac{2I_0}{r_0} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta_0\right)}{\sin\theta_0} \cos\frac{\pi}{2a}(Vt - z_0),$$

z_0 étant la distance du point considéré à l'antenne, et θ_0 l'angle du vecteur avec celle-ci.

L'énergie varie d'autre part proportionnellement au vecteur radiant de Poynting, qui a pour expression dans ce cas :

$$W = \frac{EP}{4\pi} = \frac{K}{r_0^2} \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta_0\right)}{\sin^2\theta_0}.$$

L'énergie par unité de surface d'une sphère de rayon r_0 est donc maximum dans le plan équatorial $\left(\theta_0 = \frac{\pi}{2}\right)$ et diminue très rapidement avec θ_0. Des expériences faites avec un récepteur placé en ballon libre, et muni d'une antenne convenablement accordée pendant au-dessous de la nacelle, ont vérifié ces résultats : l'énergie semble concentrée à la surface du sol dans une zone relativement peu élevée, dont l'épaisseur est fonction de la hauteur d'antenne.

On peut s'expliquer ainsi que la transmission des signaux se fasse beaucoup plus facilement sur mer que sur terre, la surface de celle-ci étant parsemée d'obstacles élevés plus ou moins conducteurs qui gênent la propagation et absorbent l'énergie.

Le rôle de la terre est bien défini par cette théorie : elle sert à compléter l'oscillateur de Hertz, dont l'antenne proprement dite ne forme qu'une moitié, et de plus elle concentre l'énergie à sa surface. Ce dernier est le rôle essentiel, car on peut obtenir d'excellentes communications en supprimant le premier, c'est-à-dire en complétant l'oscillateur de Hertz non plus au moyen d'une mise à la terre de l'antenne, mais au moyen de plaques métalliques isolées ou mieux encore au moyen d'un fil horizontal isolé de longueur convenable.

Réception des signaux. — L'antenne du poste correspondant, étant plongée dans le champ électromagnétique créé par le mouvement vibratoire de l'antenne de transmission, devient elle-même le siège d'oscillations électriques analogues à celles de l'émission, bien que d'énergie très réduite. Lorsque sa période propre n'est pas trop différente de celle de l'émission, ses vibrations ont une énergie notable en vertu du phénomène de la résonance multiple, les oscillations de la transmission ayant un amortissement considérable dans le cas général. Néanmoins le rendement est évidemment maximum quand il y a résonance des deux antennes.

Il est donc avantageux d'établir cet accord. Le procédé le plus

simple consiste à employer des antennes identiques; dans le cas où cela n'est pas possible, il est commode d'opérer de la manière suivante : on mesure la longueur d'onde de l'antenne la plus grande par le procédé du fil horizontal, en l'excitant directement, puis on modifie la forme, la longueur et le nombre de fils de l'antenne du deuxième poste jusqu'à ce que sa longueur d'onde, mesurée par le même moyen, soit identique à celle de la première.

Il importe ensuite d'employer l'énergie recueillie par l'antenne de réception à produire des signaux perceptibles à nos sens; ce résultat est obtenu au moyen des « détecteurs d'onde ».

Ces instruments peuvent se classer en deux catégories :

Détecteurs sensibles aux intensités maximum ou efficaces des oscillations;

Détecteurs sensibles aux tensions maximum ou efficaces.

Dans la première catégorie se rangent en particulier : les *bolomètres* (Fessenden, Tissot), qui sont sensibles aux intensités efficaces; les *détecteurs magnétiques* Rutherford-Marconi, qui sont sensibles aux intensités maximum (Tissot); les *détecteurs électrolytiques* ou *anticohéreurs*, ainsi que les *cohéreurs autodécohérents* de Tommasina, qui paraissent également devoir être sensibles aux intensités maximum.

Dans la deuxième catégorie on n'emploie guère que les cohéreurs, qui sont sensibles aux tensions maximum.

Il y a évidemment avantage à intercaler les détecteurs d'intensité dans l'antenne au voisinage de la prise de terre, puisque c'est en ce point que se produit le ventre d'intensité des oscillations de l'antenne.

Pour faire agir celle-ci sur les détecteurs de tension, il est nécessaire de passer par l'intermédiaire d'un transformateur spécial nommé *jigger* et de placer le détecteur dans le circuit secondaire entre deux ventres de tensions de signes contraires ou entre un point de tension constante et un ventre.

Le cohéreur étant le détecteur employé dans la plupart des installations, nous décrirons avec plus de détails les divers dispositifs en usage pour sa mise en œuvre :

1° *Dispositif par induction* (Marconi). — Le jigger est constitué par un petit transformateur à deux circuits : le primaire P, très court (2 à 4 mètres de fil) (*fig.* 16), est intercalé dans l'antenne au voisinage du sol; le secondaire est divisé en deux parties S_1, S_2, réunies entre

elles par un condensateur K. Les extrémités extérieures de ces deux enroulements sont reliées au cohéreur, tandis que les extrémités intérieures sont en communication avec les fils d'entrée de deux bobines d'impédance f_1, f_2, formées, par exemple, d'une certaine longueur de fil résistant enroulée sur un noyau isolant.

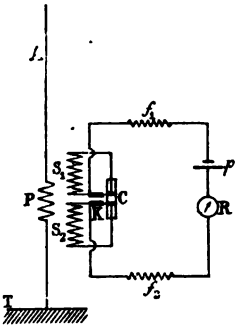


Fig. 16. — A, antenne. — P, primaire du jigger. — S_1S_2, secondaire du jigger. — K, condensateur. — C, cohéreur. — f_1, f_2, bobines d'impédance. — p, pile. — R, relais.

Remarquons tout d'abord que l'expérience a montré l'inutilité du condensateur K. Le fonctionnement d'un pareil dispositif peut alors s'expliquer de la manière suivante : les oscillations de l'antenne APT induisent, par l'intermédiaire de P, d'autres oscillations dans chacun des circuits S_1f_1, S_2f_2 ; ceux-ci peuvent être considérés comme indépendants, les bobines f_1, f_2 jouant le rôle d'étouffoirs par l'amortissement qu'elles donnent aux oscillations qui pourraient suivre le circuit pR (1). Les deux circuits se comportent donc comme si chacun d'eux n'avait qu'une extrémité, celle reliée au cohéreur. Les ondes stationnaires qui s'y établissent ont donc un ventre de tension au cohéreur, et ces ventres sont de signes contraires dans les deux circuits. Le maximum de rendement est obtenu pour une certaine longueur de

(1) Nous avons appliqué cette propriété depuis plusieurs mois pour la protection du secondaire des bobines d'induction contre l'effet des oscillations engendrées par la décharge d'un condensateur mis en dérivation à ses bornes. Il suffit d'intercaler sur chaque extrémité du secondaire une bobine constituée par 500 tours de fil de $\frac{6}{100}$ de millimètre, placés en une seule couche sur un cylindre d'ébonite de 5 centimètres de diamètre, dans une rainure hélicoïdale ayant un pas de $\frac{1}{2}$ millimètre.

1/2 secondaire, qui représente vraisemblablement un 1/4 d'onde des oscillations reçues, étant donnés les éléments électriques de ces enroulements.

On constate toutefois qu'un jigger réglé pour une transmission de période déterminée donne encore de bons résultats pour une transmission de période différente. Ce fait paraît devoir être attribué à ce que l'onde stationnaire induite se loge automatiquement dans $S_1 f_1$, par exemple, quelle que soit sa longueur, en présentant toujours un ventre de tension à l'extrémité isolée, c'est-à-dire au cohéreur.

2° *Dispositif par dérivation* (Slaby). — Le cohéreur est placé entre un point relié au sol par l'intermédiaire d'un condensateur K

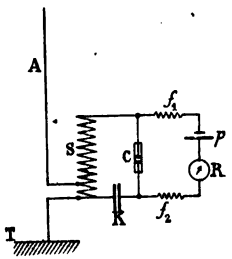


FIG. 17. — A, antenne de jigger. — T, terre. — K, condensateur. — C, cohéreur. — f_1, f_2, bobines d'impédance. — p, pile. — R, relais.

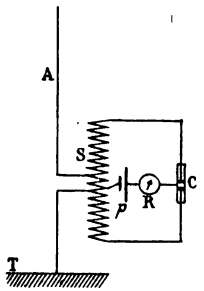


FIG. 18. — A, antenne. — S, jigger. — T, terre. — C, cohéreur. — p, pile. — R, relais.

(*fig.* 17) et un ventre de tension obtenu à l'extrémité d'un enroulement S placé en dérivation sur l'antenne. L'explication de ce dispositif est analogue à la précédente.

M. Rochefort a modifié ce montage de manière à soumettre le cohéreur à deux ventres de tension égaux et de signes contraires, et à supprimer le condensateur K. Il emploie pour cela un arrangement, indiqué par la *fig.* 18, qui comporte l'usage d'une sorte de cohéreur à trois électrodes.

3° *Dispositif par induction et dérivation combinées.* — Chacun des dispositifs décrits ci-dessus présente un certain nombre d'avantages, qui ne seront pas discutés ici en détail. Nous avons tâché de les réunir en employant le montage représenté par la *fig.* 19. L'enroulement P intercalé dans l'antenne agit par induction sur S_2 et par dérivation sur S_1. C'est au moyen d'un arrangement semblable que

nous avons pu réaliser, avec une énergie réduite, des communications à 400 kilomètres sur mer et sur terre.

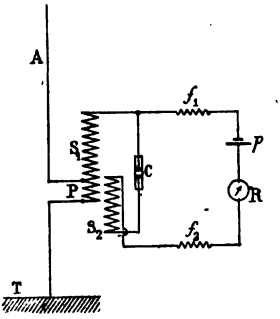


Fig. 19.

Choix du montage. — Les dispositifs de transmission et de réception qu'il convient d'employer dans les différents cas doivent être choisis d'après les conditions dans lesquelles doit fonctionner l'installation projetée. C'est ainsi, par exemple, que, pour établir une communication à grande distance avec une énergie aussi faible que possible, lorsqu'il n'existe à proximité aucun autre poste, il y a avantage à employer la transmission à excitation directe et le cohéreur. Dans le cas où l'on désirerait au contraire obtenir le maximum de protection pour les postes à établir et les postes voisins, sans se limiter l'énergie à mettre en jeu, il conviendrait d'employer une transmission à oscillations très peu amorties et un détecteur intégrateur, le bolomètre par exemple.

En résumé, la télégraphie sans fil ne permet pas, en l'état actuel de nos connaissances, d'assurer pratiquement deux communications simultanées sur deux lignes de correspondances situées à faible distance l'une de l'autre, par suite du phénomène de la résonance multiple. Si l'on remarque en outre que les manifestations électriques naturelles ont une influence sur les récepteurs et brouillent parfois complètement les télégrammes, on est forcé de convenir que le nouveau mode de communication n'offre que très peu de sécurité. Nombreux sont déjà les exemples des inconvénients qui en résultent.

Néanmoins ses applications, déjà très répandues, rendent de grands services dans certains cas, et en particulier à la marine, à la guerre, aux colonies.

Enfin, la télégraphie sans fil, ayant été l'occasion de nombreuses recherches théoriques et expérimentales, a permis de vérifier et d'étendre le champ de nos connaissances sur les ondes hertziennes, et tout porte à espérer que cette partie de son rôle n'est également pas encore terminée.

Sur la polarisation des électrodes;

Par M. E. Rothé [1].

INTRODUCTION.

Les phénomènes bien connus que présente un voltamètre dont les électrodes communiquent avec les deux pôles d'une source électrique sont très différents suivant la nature des électrodes et de l'électrolyte : si les électrodes sont des lames métalliques identiques entre elles et de même nature que le cation contenu dans le liquide électrolytique, l'expérience montre que ce liquide peut être décomposé pour de très petites forces électromotrices : si petite que soit la force électromotrice, on peut, en attendant suffisamment longtemps, constater sur les électrodes l'apparition des produits de la décomposition; si l'on place un galvanomètre dans le circuit du voltamètre, on constate que, pour de très petites forces électromotrices, l'équipage mobile prend une position permanente; aussitôt après la fermeture du circuit, abstraction faite de la self-induction, l'intensité du courant prend une valeur constante; cette intensité croît quand on augmente la force électromotrice. Tels sont les phénomènes qu'on observe par exemple dans un voltamètre à électrodes de cuivre plongées dans du sulfate de cuivre.

Il en est tout autrement si le métal des électrodes est différent du cathion : dans les conditions ordinaires, on ne voit, pour les forces électromotrices très faibles, aucune décomposition; celle-ci ne devient visible qu'à partir d'une force électromotrice déterminée. Par

---

[1] Séance du 3 juin 1904. — Thèse de Doctorat, Gauthier-Villars, Paris, 1904. *Ann. de chim. et de phys.*, 8e série, t. I; 1904; — *Sur la polarisation des électrodes*, p. 215-288; — *Polarisation des électrodes de platine, d'or et de palladium*, p. 289-337; — *Polarisation des électrodes de mercure*, p. 433-495.

exemple, si l'on soumet à l'action du courant, entre des électrodes de platine, de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, on ne voit pas apparaître de bulles gazeuses pour les faibles forces électromotrices. Ce n'est en général qu'à partir d'une force électromotrice égale à $1^{volt},6$ environ que *simultanément* on voit se former des bulles d'hydrogène à la cathode et des bulles d'oxygène à l'anode.

Quand les produits de la décomposition sont visibles, on dit qu'il y a *électrolyse ;* quand on ne peut déceler aucune décomposition, on dit qu'il y a *polarisation.* Dans ce dernier cas, un galvanomètre placé dans le circuit accuse, après la fermeture du circuit, un courant dont l'intensité décroît rapidement avec le temps, et que nous appellerons toujours, dans la suite de l'exposé, *courant variable.* Au bout de quelques centièmes de seconde, il a pris une valeur sensiblement constante, tout au moins ne variant plus que d'une façon excessivement lente. Pour abréger le langage, nous donnerons à ce courant sensiblement constant le nom de *courant permanent.*

Pendant le courant variable, il s'est donc produit un phénomène qui a eu pour résultat de s'opposer au passage ultérieur du courant : les électrodes se sont polarisées.

Quelle est la nature de ce phénomène de polarisation? Diffère-t-il complètement de l'électrolyse proprement dite et consiste-t-il simplement en une charge électrique des électrodes, ou bien, au contraire, est-il accompagné de réactions chimiques, mais de si courte durée et mettant en jeu des quantités de matières si faibles que les analyses chimiques sont impuissantes à les déceler?

La résolution de ce problème a préoccupé un très grand nombre de chercheurs. *A priori*, il semble difficile de faire une distinction nettement tranchée entre phénomènes physiques et phénomènes chimiques, car on conçoit difficilement le passage du courant à travers l'électrolyte sans l'existence simultanée de réactions chimiques: c'est précisément la superposition de ces deux ordres de phénomènes qui rend très complexe l'étude de la polarisation et fait que, malgré le grand nombre des travaux qui lui ont été consacrés, on en connaît encore mal le mécanisme et les phénomènes intimes. Les différents auteurs ont dû se placer à des points de vue particuliers : les uns se sont attachés à la mesure exacte des quantités d'électricité qui traversent le voltamètre pendant le passage du courant variable. D'autres ont fait porter plus particulièrement leurs recherches sur ce qu'ils ont appelé limite entre la polarisation et l'électrolyse, s'efforçant de pré-

ciser la force électromotrice pour laquelle les produits de la décomposition peuvent apparaître. La multiplicité de ces recherches a eu pour résultat la création de plusieurs théories différentes auxquelles on peut rattacher, en les groupant, les expériences les plus importantes.

Différentes théories. — *A*. Au moment où le courant variable prend fin, il existe entre les électrodes, supposées de même nature, une différence de potentiel qui s'oppose à celle de la source. Le courant variable produit donc le même effet que le courant de charge d'un condensateur qui porte les armatures à une différence de potentiel égale à celle de la pile de charge. Il suffit de mettre les deux électrodes du voltamètre en court-circuit pour obtenir un courant de décharge analogue à celui que fournit un condensateur dont on réunit les deux armatures. Comme les condensateurs, les voltamètres présentent le phénomène bien connu des résidus. Il y a donc, au moins en apparence, une analogie frappante entre les condensateurs électrostatiques et les voltamètres auxquels, pour cette raison, on a donné autrefois le nom de *condensateurs électrolytiques*.

B. Les expérimentateurs qui ont envisagé la polarisation uniquement au point de vue de cette analogie ne se sont point préoccupés de savoir à quel moment les produits de l'électrolyse apparaissent aux électrodes. Cette apparition ne peut avoir lieu que lorsque la force électromotrice appliquée est suffisante pour fournir le travail nécessaire à la décomposition de l'électrolyte. Les principes de la thermodynamique permettent sinon de calculer exactement à l'avance cette force électromotrice minima, du moins d'étudier ses variations quand les conditions extérieures varient. Elle dépend en effet de la température, de la pression, de la quantité de gaz dissous dans le liquide et dans les électrodes. En se fondant sur les principes de la thermodynamique, sur les propriétés de la fonction qu'il a appelée *énergie libre*, Helmholtz a montré comment cette force électromotrice doit varier avec la pression.

C. En appliquant les principes fondamentaux de la théorie des ions, on peut se représenter le mécanisme par lequel les différents éléments peuvent passer de l'état d'ion à l'état de matière. En introduisant dans la science la notion de *pression de dissolution*, M. Nernst a réussi à donner une image des phénomènes électrolytiques en quelque sorte plus tangible que ne l'avait fait Helmholtz, en appliquant à la polarisation sa théorie générale de la couche double.

D. En réalité, avant l'électrolyse visible, des réactions chimiques sont déjà possibles : aucune électrode ne peut être considérée comme véritablement inattaquable par l'électrolyte ou imperméable aux gaz électrolytiques. M. Berthelot a appelé l'attention des physiciens sur l'existence d'hydrures métalliques, qui peuvent jouer un rôle capital dans les phénomènes de polarisation, et M. Bouty, en étudiant les résidus à grande période que présente un voltamètre polarisé, a montré qu'en fait on doit le considérer plutôt comme un accumulateur associé à un condensateur que comme un condensateur parfait. Helmholtz attribue le courant permanent précédemment défini à une véritable électrolyse due à la présence de l'air et des gaz dissous dans l'électrolyte. Il y a donc aussi une véritable *théorie électrochimique* de la polarisation : il semble bien probable, sinon certain, que les électrodes ont subi des actions chimiques permanentes, bien avant l'électrolyse visible, et pourtant, malgré le grand nombre de travaux qui ont été consacrés à la polarisation en général [1], ces phénomènes chimiques de courte durée n'ont pas été encore soumis à une étude systématique. Les différents expérimentateurs ont utilisé les deux instruments dont ils disposaient, électromètre et galvanomètre, et il semble qu'ils en aient actuellement tiré les résultats les plus importants qu'on en peut attendre. D'ailleurs la plupart d'entre eux ne se sont attachés qu'à l'étude du courant permanent. C'est au contraire en étudiant le courant variable que les physiciens pourront pénétrer plus intimement dans le mécanisme des phénomènes de polarisation. C'est dans ce but qu'ont été imaginées les méthodes ingénieuses de M. Blondlot [2] et de M. Bouty [3]. Leurs résultats permettent de construire la courbe $i = f(t)$, qui représente les variations de l'intensité du courant traversant le voltamètre, en fonction du temps; mais on ne peut obtenir ce tracé que d'une façon indirecte et par points. Grâce à l'oscillographe de M. Blondel, j'ai pu suivre les variations du courant et obtenir la courbe $i = f(t)$ par inscription directe; c'est l'étude du courant variable qui a fait le principal objet de mes recherches. Les résultats auxquels j'ai été conduit m'autorisent à dire qu'il n'existe pas de différence tranchée

---

(1) La Bibliographie complète de cette question figure dans ma thèse (p. 1 à 9), Gauthier-Villars, Paris, 1904.

(2) Blondlot, thèse de Doctorat, Gauthier-Villars, Paris, 1881; *J. de Phys.*, 1re série, t. X, p. 277, 333, 434; 1881.

(3) Bouty, *Ann. de chim. et de phys.*, 7e série, t. III, p. 145; 1894.

entre la polarisation et l'électrolyse et qu'il y a au contraire continuité absolue entre ces deux phases d'un seul et même phénomène.

MÉTHODES EXPÉRIMENTALES.

Toutes les méthodes que j'ai employées se réduisent en somme à placer dans le même circuit le voltamètre en expérience V, un appareil permettant de mesurer l'intensité du courant G, une source électrique à forces électromotrices variables (*fig.* 1). Ces forces électromotrices sont fournies par une dérivation prise sur le circuit d'un accumulateur A fermé sur deux résistances R et R'. Aux bornes de la résistance R sont fixées les extrémités de la dérivation comprenant le voltamètre et l'appareil de mesure d'intensité.

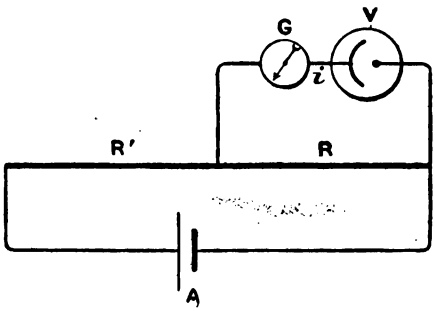


Fig. 1.

Je mesurais la différence de potentiel entre les électrodes du voltamètre en employant la méthode bien connue de compensation, soit sous la forme du pont à fil, méthode imaginée par M. Pellat, soit sous la forme que lui a donnée M. Bouty. Je prenais comme étalons de force électromotrice des éléments Latimer-Clark, Gouy et Weston, dont l'un avait été mesuré avec soin à l'aide de l'électrodynamomètre absolu de M. Pellat. Ces éléments n'ont pas varié de 0,001 volt dans l'intervalle de trois années.

Le voltamètre, placé dans un bon thermostat, était maintenu à température constante pendant toute la durée des expériences.

Différentes méthodes. — L'appareil servant à mesurer l'intensité a été, suivant la nature des expériences, un galvanomètre ou l'oscillographe de M. Blondel. Pour étudier, comme l'ont fait déjà plusieurs expérimentateurs, le courant permanent, il suffit de placer dans le

circuit du voltamètre, en série avec lui, un galvanomètre convenablement shunté. Cette méthode portera dans la suite de ce travail le nom de *méthode galvanométrique*. Pour suivre, au contraire, aussi rapidement que possible les variations d'intensité, j'ai employé la *méthode de l'oscillographe*. Enfin, il m'a souvent été utile de connaître la quantité d'électricité traversant le voltamètre pendant un temps déterminé : j'ai dû recourir pour cela à la *méthode balistique*.

1° *Méthode galvanométrique.*

Le galvanomètre que j'ai le plus souvent utilisé était un galvanomètre Thomson de grande sensibilité, shunté par une faible résistance. Le circuit total du voltamètre et du galvanomètre était ainsi à faible résistance, condition essentielle pour que le courant variable prenne fin le plus rapidement possible. Dans le cas fréquent où je devais faire mes mesures au voisinage d'électro-aimants et de moteurs dont on verra plus loin l'utilité et qui auraient influencé les aimants du galvanomètre Thomson, j'ai fait usage d'un galvanomètre à cadre Hartmann et Braun, genre Deprez-d'Arsonval; sa sensibilité est à peu près équivalente à celle du Thomson, et il présente en outre l'avantage de pouvoir être utilisé au voisinage d'électro-aimants.

2° *Méthode de l'oscillographe.*

Principe de l'appareil. — L'oscillographe bifilaire de M. Blondel est le plus sensible qui ait été construit jusqu'ici; il est formé essentiellement par deux lames prismatiques à section rectangulaire L^1, L_2, verticales, traversées en sens inverse par le courant à étudier et fortement tendues dans un champ magnétique puissant. Un petit miroir m, de surface inférieure à 1 millimètre carré, est collé à cheval sur les lames dans leur partie médiane. Sous l'influence du champ, l'équipage formé par l'ensemble des lames (équipage bifilaire) subit une torsion autour de la verticale moyenne comprise entre les deux lames. Le *Journal de Physique* a publié déjà la description complète des oscillographes de M. Blondel, ainsi que leur théorie [1]. On sait que, les déplacements du miroir étant très rapides, il est indispensable d'inscrire les déviations par la méthode photographique; la petitesse du

[1] A. Blondel, *Sur les oscillographes* (*J. de Phys.*, 4e série, t. I, p. 273 ; 1902).

miroir nécessite l'emploi de différents artifices pour y concentrer le plus de lumière possible. On emploie comme source lumineuse l'arc électrique : le faisceau concentré dans la direction de la fente

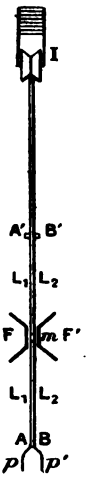


Fig. 2.

verticale F au moyen d'un condenseur (lentille cylindrique *l* à génératrices horizontales) tombe sur le petit miroir *o*, derrière une lentille convergente (*fig.* 3). Les rayons réfléchis par le miroir traversent une

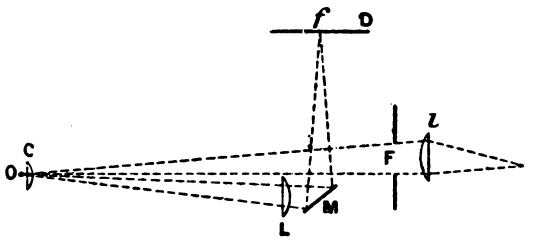


Fig. 3.

large lentille cylindrique L à génératrices horizontales, qui réduit l'image conjuguée de la fente par rapport à la lentille *c* à un point lumineux très étincelant, malgré les petites dimensions du miroir de l'oscillographe (dispositif de Boys). Pour faciliter l'observation, le faisceau est renvoyé verticalement par un miroir plan M et forme l'image définitive *f*, point très lumineux, sur la glace dépolie D.

Courbes d'inscription. — Sous l'action du courant, le miroir se déplace autour d'un axe vertical ; un faisceau lumineux tombant sur le miroir est réfléchi dans un plan horizontal, et le point lumineux décrit sur la plaque D une droite horizontale II′ perpendiculaire au plan de la figure. Le déplacement dépendant de l'intensité du courant, la droite II′ est l'axe des déviations ou des intensités. D'autre part, si l'on fait tourner le miroir *m* autour d'un axe horizontal, c'est-à-dire perpendiculaire au plan de la figure, le rayon réfléchi se déplacera dans le plan même de la figure, et l'image lumineuse décrira un arc de cercle ayant pour centre le centre du miroir tournant et pour rayon la distance du miroir à la glace dépolie. Cet arc peut être confondu avec sa tangente située dans la

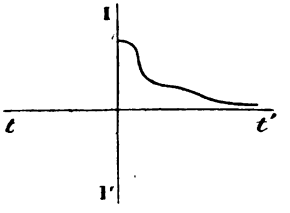


Fig. 4.

plaque D qui sera l'axe des temps TT′ (*fig.* 4). De la vitesse de rotation du miroir on peut déduire en effet la longueur que décrit le point lumineux pendant l'unité de temps. Si l'on fait tourner le miroir *m* pendant que le miroir O oscille, le point lumineux décrira une courbe représentant les variations de l'intensité en fonction du temps. Pour l'étude des phénomènes périodiques, on pourrait se contenter d'observer directement la forme des courbes qui se reproduisent sur la plaque dépolie à chaque rotation du miroir ; on peut aussi les inscrire en remplaçant la plaque dépolie par une plaque photographique. Cette dernière méthode est la seule possible lorsqu'on étudie, comme nous nous le sommes proposé dans ce travail, un phénomène instantané et non périodique ; la rapidité des déplacements exige l'emploi de plaques très sensibles et de révélateurs très puissants.

Pour savoir comment varie l'intensité avec le temps, il faut graduer l'appareil en ampères et secondes, c'est-à-dire déterminer la longueur qui correspond sur l'axe des temps à la seconde et sur l'axe des intensités à l'ampère.

Graduation de l'axe des temps en secondes. — Le miroir m est mis en mouvement de l'extérieur au moyen d'un petit moteur électrique qui lui communique un mouvement suffisamment uniforme pendant toute une série de mesures, quand les accumulateurs qui le mettent en mouvement sont suffisamment bien chargés. Au cours des expériences, il est bon de vérifier constamment l'uniformité du mouvement de rotation en comptant le temps nécessaire au miroir pour exécuter une trentaine de tours. La vitesse la plus généralement employée est voisine de 2 secondes par tour. Connaissant la distance de l'axe du miroir à la plaque, 185 millimètres, on en déduit par un calcul simple la longueur correspondant au centième de seconde sur l'axe des temps. On peut aussi, plus exactement et plus commodément, graduer l'axe des temps en inscrivant le courant excitateur de diapasons étalonnés. A chaque vibration complète du diapason, le courant excitateur est interrompu ; la courbe représentant l'intensité $i = f(t)$ est une courbe périodique de même période que celle du diapason. Pour la vitesse de rotation $1^s,75$, le calcul indique $13^{mm},2$ pour la longueur représentant le centième de seconde ; en inscrivant le courant excitateur d'un diapason à 100 vibrations par seconde, j'ai obtenu des concamérations de longueur égale à $13^{mm},1$. L'accord est tout aussi complet pour les différentes vitesses. On peut donc être assuré de l'exactitude des graduations faites par l'une ou l'autre de ces deux méthodes. Lorsque l'oscillographe possède deux équipages mobiles, on met l'un d'eux dans le circuit d'expérience, le second dans le circuit excitateur d'un diapason, et l'on inscrit sur une même plaque la courbe d'expérience et la courbe du diapason. Cette méthode est de beaucoup la plus exacte pour la mesure du temps.

J'ai d'ailleurs toujours pris la précaution de faire, au début et à la fin d'une série de mesures, deux clichés témoins correspondant à un phénomène bien déterminé, afin de m'assurer par la coïncidence des courbes inscrites que ni la vitesse ni aucun autre facteur des mesures n'avait été modifié au cours de l'expérience.

Graduation de l'axe des intensités en ampères. — Pour graduer l'axe des intensités en ampères, j'ai fait passer dans le bifilaire des courants d'intensité connue : les déviations de l'équipage sont proportionnelles à l'intensité du courant jusqu'à 5 milliampères environ. Pour un courant de 0,001 ampère, elle est exactement de 5 millimètre ; on peut donc lire les dix-millièmes et apprécier les vingt-millièmes d'ampère (déviation de $0^{mm},25$). En renversant le sens du courant

dans le bifilaire ou le sens du champ, on obtient des déviations en sens inverse égales aux premières. Les plus grands écarts observés ont été de $0^{mm},2$ pour des déviations de 35 millimètres, c'est-à-dire des courants de 7 milliampères.

On peut obtenir une sensibilité supérieure à la précédente en diminuant le nombre des vibrations propres du bifilaire, qui était de 5000 environ pour les équipages que j'employais. Mais déjà cette sensibilité est suffisante pour que l'oscillographe de M. Blondel, primitivement destiné à l'étude des courants industriels, puisse être employé avec fruit dans les recherches précises de laboratoire. Une fois les réglages effectués avec soin, son fonctionnement est d'une parfaite régularité. Il suit les moindres variations d'intensité : c'est ainsi que de petites vibrations des commutateurs à l'ouverture ou à la fermeture des circuits sont enregistrées sur les clichés. La *fig.* 5 représente le courant excitateur d'un diapason à 100 variations

Fig. 5.

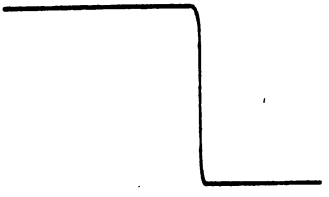


Fig. 6.

par seconde ; la *fig.* 6 reproduit l'établissement d'un courant constant sans self appréciable. Pour ces deux clichés, la vitesse de rotation du miroir tournant était la même : on voit donc que, pour un courant constant, la déviation de l'équipage atteint sa valeur permanente en moins de 0,001 seconde.

Emploi d'un relais. — Le phénomène de polarisation devait se produire par commutation automatique au moment même où le faisceau lumineux, réfléchi par le miroir tournant, passait sur la plaque photographique. Pour réaliser cette condition, j'ai employé le dispositif suivant : sur l'axe du miroir tournant est fixée une rondelle de fibre munie d'une petite plaque métallique en communication permanente avec l'axe et l'un des pôles d'une batterie de piles Leclanché ; un ressort en relation avec le second pôle de la pile s'appuie sur le cylindre isolant de fibre et ferme le circuit de la pile, en touchant la plaque métallique au moment précis où le faisceau réfléchi arrive sur la

plaque photographique. Au moyen d'un commutateur à godets de mercure, on peut placer dans ce circuit soit une sonnette électrique, soit un relais polarisé. Si l'on met la sonnette dans le circuit, elle tintera toutes les fois que le faisceau lumineux passera sur la plaque, c'est-à-dire à chaque tour du miroir tournant ; par ce procédé, même en travaillant dans l'obscurité, on pourra compter aisément les tours du miroir tournant.

Le relais est constitué par un électro-aimant polarisé de Hugghes, c'est-à-dire un aimant permanent dont les pièces polaires communiquent avec les deux noyaux de fer doux de deux électro-aimants. L'aimant permanent communique aux noyaux de fer doux une aimantation suffisante pour qu'ils retiennent soulevé un levier d'aluminium muni d'un contact de fer. En lançant le courant de la pile dans un

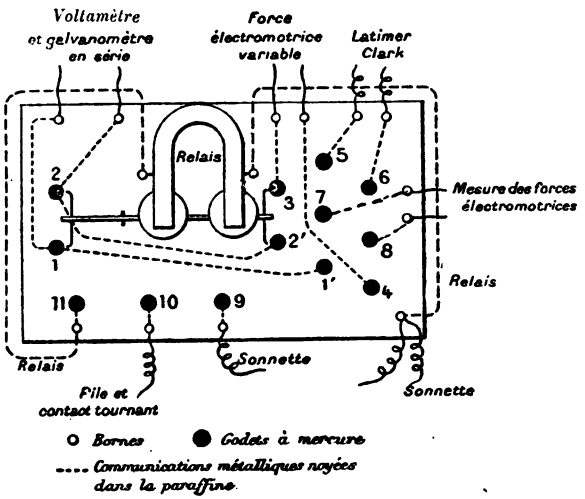


Fig. 7.

certain sens dans les bobines de l'électro-aimant, on détruit l'aimantation des noyaux, et le levier retombe. Si alors on inverse le sens du courant dans les bobines, l'aimantation est au contraire augmentée et le levier peut être attiré et soulevé. Il est ensuite retenu par l'aimant permanent, même lorsque le courant a pris fin. Le levier, mobile autour d'un axe, porte à ses deux extrémités deux ponts métalliques réglés de façon à mettre les deux électrodes du voltamètre en court-circuit quand le levier est abaissé, et à établir, au

contraire, entre les électrodes une différence de potentiel lorsqu'il est relevé. Pour rendre les manipulations plus commodes, j'ai réuni les différents commutateurs dans une même boîte à paraffine, qui sert à la fois de support et d'isolant (*fig.* 7).

Manipulations. — Pour mettre une expérience en marche, il suffit d'effectuer les opérations suivantes dans l'ordre indiqué :

1° Lancer le courant électrique du secteur dans l'arc du projecteur et effectuer le réglage optique. (Ce réglage étant fait une fois pour toutes, il suffit dans les opérations successives de toucher aux charbons pour redonner à l'image lumineuse un éclat suffisant.) Remplacer la plaque dépolie par un châssis 9 × 12 chargé et fermé ;

2° Exciter l'électro-aimant de l'oscillographe en s'assurant à l'aide d'un ampèremètre que l'intensité est d'environ 5 ampères ;

3° Animer le petit moteur actionnant le miroir tournant et placer le pont 1′-4, qui introduit la source à force électromotrice variable, dans le circuit du voltamètre. Pendant ces opérations préliminaires, le levier relevé maintient les deux électrodes du voltamètre au même potentiel par le pont 1-2 ;

4° Placer le pont 9-10, qui met la sonnette dans le circuit du contact tournant et des piles Leclanché. Chaque fois que le faisceau lumineux passe sur le châssis, un coup de sonnette retentit. Après avoir entendu un coup de sonnette, dévoiler rapidement le rideau du châssis et attendre le coup de sonnette suivant : l'oscillographe n'est parcouru à ce moment par aucun courant, et le point lumineux décrit sur la plaque photographique la ligne de zéro des intensités ou axe des temps. Aussitôt après avoir entendu le deuxième coup de sonnette, établir la communication 10-11 [1]. Le relais est alors dans le circuit et au tour suivant du miroir le déclenchement du levier se produit, le pont 3-2′ établit une différence de potentiel entre les électrodes, et la plaque photographique inscrit la courbe de charge du voltamètre. Aussitôt après le déclenchement, fermer le rideau du châssis et interrompre les circuits du projecteur, du moteur et du relais ;

5° Mesurer la force électromotrice de polarisation en établissant

---

[1] Toutes ces opérations devant être effectuées dans un temps très court, pour éviter que l'arc soit déréglé, les ponts sont tous disposés sous la main de l'opérateur, qui peut ainsi effectuer toutes les commutations en une seconde environ. En particulier, les ponts 9-10 et 10-11 font partie d'un commutateur à bascule qui se manœuvre par un choc brusque.

les ponts 3-7 et 8-4, qui opposent à la différence de potentiel entre les deux électrodes la différence de potentiel fournie par le compensateur de M. Bouty, l'électromètre capillaire étant pris comme instrument de zéro, et enfin étalonner ce compensateur au moyen des ponts 7-5 et 8-6, qui lui opposent un élément étalon Latimer-Clark.

Durées variables de polarisation. — Le même dispositif permet aussi de faire varier à volonté et de quantités connues la durée de la polarisation.

Il suffit après le déclenchement du levier de replacer le pont 9-10 en conservant toutes les autres connexions et de compter les tours du miroir par les coups de sonnette ; on connaît ainsi le temps pendant lequel le voltamètre a été polarisé. Lorsqu'il s'est écoulé un temps suffisant, on change le sens du courant dans le relais au moyen d'un inverseur Bertin : on supprime 9-10 en rétablissant 10-11. Au tour suivant du miroir, le levier est attiré et les électrodes sont mises en court-circuit.

On peut de cette façon inscrire sur une même plaque photographique le courant de charge du voltamètre au moment de la chute du levier et son courant de décharge au moment où il se relève.

Cette dernière manipulation exige un réglage délicat : le poids du levier doit être assez léger pour qu'il puisse être attiré par l'électro-aimant du relais et assez lourd pour pouvoir tomber au moment de l'inversion du courant. Pour satisfaire à ces conditions, on alourdit ou on allège le levier d'aluminium en le munissant d'un petit cavalier de plomb convenablement placé [1].

3° *Méthode balistique.*

J'ai employé un galvanomètre Hartmann et Braun, qui se prête particulièrement bien aux mesures balistiques, et un interrupteur-pendule à contact frottant, analogue à celui de M. Blondlot, me permettant de réaliser des fermetures d'environ un ou deux dixièmes de

[1] Lorsqu'on n'a pas d'oscillographe à sa disposition, on peut néanmoins obtenir déjà des renseignements utiles, surtout pour des expériences de comparaison, à l'aide d'un galvanomètre Deprez-d'Arsonval à courte période d'oscillation, à condition d'utiliser encore la méthode photographique. On ne peut pas espérer obtenir ainsi la véritable forme des courbes de polarisation ; on peut du moins constater si, dans plusieurs expériences consécutives, les courbes restent identiques entre elles ou se modifient.

seconde [1]. Un dispositif spécial me permettait d'employer la méthode balistique à la fin d'un cycle d'opérations, c'est-à-dire après avoir polarisé et dépolarisé le voltamètre un certain nombre de fois.

Observation directe. — Quelle que soit la méthode employée, j'ai souvent complété les observations en regardant attentivement au microscope, après chaque mesure, l'électrode polarisable pour m'assurer optiquement que les expériences étaient bien faites au-dessous de la force électromotrice nécessaire à l'électrolyse visible, et pour noter aussi exactement que possible le moment où les premières bulles se forment.

ÉLECTRODES DE PLATINE.

Mes expériences ont porté surtout sur des solutions d'acide sulfurique et d'acide chlorhydrique de diverses concentrations.

1° En me plaçant dans les mêmes conditions que M. Blondlot, c'est-à-dire en réduisant autant que possible la résistance du circuit d'expériences, prenant comme force électromotrice variable une dérivation sur un pont à corde de très faible résistance, j'ai obtenu avec l'oscillographe des courbes d'inscription identiques à celles qu'indique M. Blondlot. Si l'on veut étudier non plus les capacités initiales, c'est-à-dire les plus petites quantités d'électricité capables d'amener les électrodes du voltamètre à une différence de potentiel déterminée, mais la façon dont l'intensité varie avec le temps, il y a, au contraire, intérêt à augmenter la résistance pour opérer sous faible intensité. En faisant varier l'intensité du courant de charge à force électromotrice constante, j'ai également vérifié que la polarisation à un instant déterminé dépend de l'intensité du courant initial, et qu'une électrode se polarise d'autant plus vite que la résistance est moins grande, conformément à la loi énoncée par M. Bouty [2] : *la polarisation des électrodes de platine n'est que le résultat du passage d'un courant qui traverse d'abord le voltamètre avec la pleine intensité déterminée par la force électromotrice extérieure et la résistance totale employées. — L'oscillographe permet d'étendre la loi que M. Bouty avait énoncée pour des courants ne variant que lentement*

---

(1) Voir la thèse de M. Blondlot, *loc. cit.*
(2) Bouty, *J. de Phys.*, t. 1, 2e série, p. 346; 1882.

avec le temps à des courants ne durant que quelques millièmes de seconde.

2° *Il existe une dissymétrie entre les polarisations de l'anode et de la cathode : la polarisation cathodique est toujours plus rapide que la polarisation anodique.* Pour rendre manifeste cette différence, j'ai utilisé deux électrodes de dimensions très différentes, un fil fin et une large lame. Nous appellerons dans ce qui suit *courbe de polarisation cathodique* la courbe inscrite par l'oscillographe quand le fil fin est pris comme cathode, et *courbe de polarisation anodique* la courbe inscrite par l'oscillographe quand le fil fin est pris comme anode. L'exemple ci-dessous, pris parmi de nombreuses séries de mesures, accuse nettement la dissymétrie.

Les colonnes C sont relatives à la polarisation cathodique, les colonnes A à la polarisation anodique. Les nombres du tableau représentent les intensités du courant exprimées en $0^{amp},0001$, au bout des temps exprimés en millièmes de seconde figurant dans la première colonne.

Acide chlorhydrique normal.

(Intensité en $0^{amp},0001$.)

Temps en millièmes de seconde	E = $0^{volt},5$ C	R = 62, R' = 188 A	E = $0^{volt},64$ C	R = 90, R' = 160 A
0. . . .	42	42	52	51
1. . . .	28	28	34	33
2. . . .	20	20,5	28	28
5. . . .	8	9	17	17
10. . . .	5	6	12	13
20. . . .	3	4	7	9
50. . . .	< 0,25	2	4	7
100. . . .	»	< 0,5	1	6
2000. . . .	»	»	< 0,25	< 0,25

Temps en millièmes de seconde	E = $0^{volt},84$ C	R = 100, R' = 150 A	E = 1^{volt} C	R = 250, R' = 250 A
0. . . .	60	60	36	38
1. . . .	40	40	26	32
2. . . .	26	28	20	28
5. . . .	20	24	16	26
10. . . .	19	23	13	25,5
20. . . .	17	22	10	25
50. . . .	14	20	7,5	24,5
100. . . .	8	18	6,5	21
2000. . . .	< 0,5	9	< 0,25	9

Ainsi la comparaison [1] entre les courbes de polarisation anodique et cathodique montre que, pour des forces électromotrices très faibles, souvent de l'ordre du dixième de volt, les électrodes de platine se comportent de *façon toute différente suivant qu'elles sont anode ou cathode.*

Ainsi, sans pousser plus loin l'analyse du phénomène, on peut déjà affirmer que la polarisation d'un voltamètre n'est pas complètement analogue à la charge d'un condensateur : si l'on admet que la polarisation est due seulement à une couche double formée par des ions chargés d'électricité s'accumulant le long des électrodes, on conçoit difficilement qu'il existe une semblable dissymétrie suivant que les ions sont chargés positivement ou négativement. On en trouve plus facilement l'explication si l'on admet, avec M. Berthelot, l'existence d'hydrures et aussi d'oxydes de platine dont la chaleur de formation est considérable. Bien avant que l'électrolyse permanente puisse avoir lieu, les électrodes sont déjà modifiées par des réactions secondaires, dont les vitesses peuvent être très différentes; l'hydrogène, qui, d'après des expériences connues, est absorbé par le platine beaucoup plus vite que les autres gaz, devra se comporter autrement que l'oxygène.

La modification superficielle de l'électrode exigera, suivant la nature des ions en présence, un temps plus ou moins long avant que la force contre-électromotrice qui en résulte soit suffisante pour réduire l'intensité du courant à une valeur très faible. Les ions, au moment où ils passent à l'état de matière, ont une *activité chimique* considérable. Le chlore électrolytique, notamment, attaque encore plus vivement le platine que l'oxygène. Aussi, dans le cas de la polarisation anodique du platine dans l'acide chlorhydrique, le courant variable doit conserver, pendant un temps relativement long, une valeur notable; c'est bien ce qu'indiquent les nombres ci-dessus.

Il n'est donc pas prématuré de conclure qu'avant l'électrolyse visible *il y a déjà électrolyse invisible et formation de produits chimiques aux électrodes.*

3° *La forme générale des courbes de charge ne varie pas avec la force électromotrice.* Lorsque celle-ci augmente, la polarisation devient de moins en moins rapide, c'est-à-dire que l'intensité du

---

(1) Je me contente de donner ici un exemple numérique relatif aux faits énoncés. J'ai multiplié ces exemples dans mes trois *Mémoires des Annales de chimie et physique.*

courant conserve une valeur notable pendant un temps de plus en plus long. Mais il n'existe pas de force électromotrice pour laquelle subitement la forme des courbes varie. Il y a donc continuité entre la polarisation et l'électrolyse. Les courbes ci-dessous (*fig.* 8), relatives à l'acide chlorhydrique normal, accusent cette continuité.

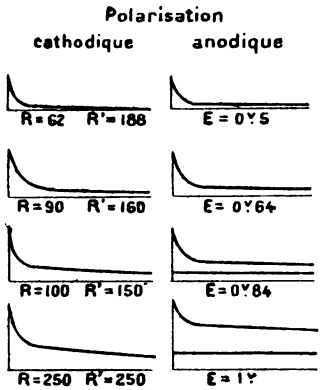


FIG. 8.

4° La méthode galvanométrique montre la même continuité : lorsqu'*on augmente progressivement la force électromotrice, l'intensité du courant varie d'une façon continue.* Si on porte en abscisses les forces électromotrices, et en ordonnées les intensités du courant qui traverse le voltamètre pour chaque force électromotrice, les courbes obtenues sont continues ; *elles ne sont pas formées de tronçons séparés se coupant sous des angles nets.* Lorsque l'électrolyse franche et visible a lieu, les intensités croissent plus vite, la forme de la courbe s'arrondit ; mais le début de l'électrolyse ne saurait être déterminé avec précision à l'inspection seule de la courbe.

Prenons comme exemple le cas d'une solution d'acide sulfurique de densité 1,074. Les colonnes marquées E contiennent les forces électromotrices exprimées en volts, les colonnes marquées δ les déviations du galvanomètre qui sont proportionnelles à l'intensité du courant.

Acide sulfurique (densité = 1,074).

E volt	δ	E volt	δ	E volt	δ
1,286	4	1,489	12,4	1,581	22,5
1,378	6	1,507	14	1,600	25,5
1,415	7,6	1,526	15,6	1,617	29
1,452	10	1,544	17,5	1,635	33
1,471	11,2	1,562	20	1,654	38

Électrolyse à $1^{volt},56$

Dans la portion gauche, il est impossible, même au microscope, d'apercevoir la moindre bulle gazeuse; dans la partie droite, au contraire, l'électrolyse permanente se produit. Le dégagement apparent des bulles a certainement lieu au voisinage du coude, conformément à l'opinion des divers expérimentateurs, mais l'observation seule de ces courbes ne saurait suffire à déterminer d'une façon précise la force électromotrice pour laquelle l'électrolyse visible commence. J'ai eu recours à l'emploi simultané du galvanomètre et du microscope : il devient ainsi possible de déterminer la force électromotrice pour laquelle les bulles éclatent à $0^{v},05$ près.

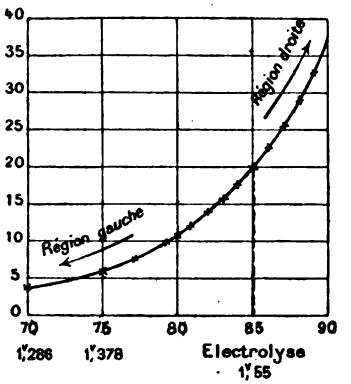


Fig. 9.

5° Pour les solutions d'acide sulfurique dans l'eau, *l'électrolyse commence, quelle que soit la concentration, entre* $1^{v},55$ *et* $1^{v},57$. Le début de l'électrolyse franche ne semble donc pas dépendre de la concentration [1].

[1] Ces résultats sont conformes à ceux de MM. Le Blanc et Caspari. Voir *Ann. de chim. et de phys.* — Thèse de doctorat, Gauthier-Villars, Paris, 1904, p. 4, 6, et 48 à 55.

6° Il en est tout autrement pour les solutions d'acide chlorhydrique. *La force électromotrice de l'électrolyse* (force électromotrice pour laquelle l'électrolyse franche a lieu) *varie dans de larges limites quand la concentration varie* (1).

Électrolyse de l'acide chlorhydrique.

Densité de la solution	Force électromotrice de l'électrolyse	Densité de la solution	Force électromotrice de l'électrolyse
1,001	1,63	1,025	1,07
1,003	1,59	1,030	0,99
1,010	1,34	1,050	0,92
1,020	1,145	1,080	0,82

7° Dans le cas où les électrodes de platine ne sont pas de même surface, *la force électromotrice pour laquelle des bulles gazeuses se dégagent varie avec le rapport des surfaces des deux électrodes.* Ainsi, conformément aux observations de MM. Bartoli, Sokolow, Glaser (2), on voit se dégager des bulles d'hydrogène, pour une force électromotrice très peu supérieure à 1 volt, sur une cathode formée par un fil fin, si on a soin de prendre pour anode une très large lame de platine. J'ai également observé le dégagement d'oxygène sur le fil lorsqu'on le prend pour anode.

8° Au premier abord, *il semble que, dans ces conditions, la courbe galvanométrique accuse une véritable discontinuité au voisinage de la force électromotrice* 1 volt. L'intensité varie si brusquement qu'on obtient deux tronçons de courbes se coupant suivant un angle net. En réalité, cette discontinuité n'est qu'apparente.

Afin d'obtenir la plus grande intensité possible, j'ai réduit la résistance du circuit à 4 ou 5 ohms au maximum, condition essentielle pour que ces phénomènes se présentent d'une façon nette. J'ai alors observé les faits suivants : dès qu'on atteint les forces électromotrices de l'ordre de $0^v,7$ ou $0^v,8$, le galvanomètre indique une grande déviation initiale correspondant à un courant intense. *Ce courant est variable, mais ne diminue que très lentement avec le temps :* aussi, si la résistance du circuit n'est pas très faible, la diminution d'intensité sera tellement lente qu'on pourra croire le régime permanent

(1) Ces résultats sont conformes à ceux de MM. Le Blanc et Caspari. Voir *Ann. de chim. et de phys.* — Thèse de doctorat, Gauthier-Villars, Paris, 1904, p. 4, 6, et 48 à 55.

(2) Voir Rothé, thèse de doctorat ; bibliographie, p. 1 à 9, et historique.

atteint. Dans ce dernier cas, la courbe obtenue en portant en abscisses les forces électromotrices, et en ordonnées les déviations du galvanomètre, présente un angle à la force électromotrice de $1^{v},08$. Cet angle est dû uniquement à ce qu'on fait la lecture du galvanomètre avant que le régime permanent soit atteint. Si l'on attend suffisamment longtemps, plusieurs minutes, même dans le cas où le circuit est peu résistant, la courbe devient beaucoup plus régulière, et l'angle s'arrondit ; c'est ce qui ressort visiblement des tableaux de nombres suivants dans lesquels sont inscrites les déviations après 30 secondes, 2 minutes et 5 minutes.

Acide sulfurique (solution décinormale).

(Polarisation cathodique.)

Force électromotrice	Déviation du galvanomètre au bout de		
	30 secondes	2 minutes	5 minutes
volts			
0,370	9	8	7
0,409	12,5	10	9
0,461	16	13	12
0,509	18	16	14
0,533	21	17	15
0,562	26	19	16
0,600	30	21	18,5
0,659	34	26	22
0,750	40	30	26
0,842	45	34	31
0,936	57	40	38
1,032	100	63	52
1,078	150	86	58
1,125	200	130	64

Acide sulfurique $\frac{1}{10}$ normal.

(Électrodes dissymétriques, polarisation cathodique.)

I. Déviations après 30 secondes
II. — 2 minutes
III. — 5 minutes.

Les courbes de la *fig.* 10 montrent bien que, même au voisinage de 1 volt, les phénomènes de polarisation varient d'une façon continue quand la force électromotrice augmente : l'angle, si accentué quand les déviations sont notées au bout d'un temps court, le devient

de moins en moins si l'on attend un temps suffisant avant de faire les lectures.

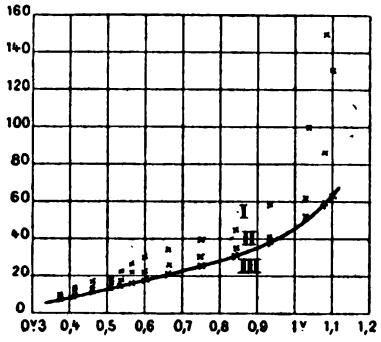


FIG. 10.

9° On prend souvent une très large électrode et un fil fin dans l'espoir de pouvoir négliger la polarisation de la large lame, par rapport à celle du fil. Dans un grand nombre de cas, par exemple dans la mesure des capacités de polarisation, on n'a pas toujours le droit de faire cette approximation. En effet, le courant très intense que l'on observe, dans les premiers instants, est dû précisément à la présence d'une très large lame. On se tromperait totalement en admettant que ce courant ne sert qu'à polariser la petite électrode.

L'électrode de petite dimension est complètement polarisée au bout d'un temps très court, aussitôt qu'elle a absorbé à saturation le gaz électrolytique. La large électrode, au contraire, continue à absorber le second gaz jusqu'à ce qu'elle soit elle-même saturée. *Il se produit donc pendant plusieurs minutes un courant servant à polariser la large électrode.* Ce fait important prouve qu'il n'est pas possible de négliger la polarisation de cette large électrode. En réalité, elle intervient pour une très grande part dans la capacité de polarisation du voltamètre.

10° On peut observer facilement le dégagement de fines bulles, qui se produit au voisinage de 1 volt, à l'aide d'un microscope. Au bout de très peu de temps, quelques secondes à peine, si la pointe est très fine, le dégagement cesse ; on peut alors remuer l'électrode afin de chasser les bulles ; on peut agiter le liquide, secouer l'électrode large, l'électrolyse ne reprend pas. C'est ce phénomène qu'ont décrit d'abord M. Bartoli et plus tard M. Sokolow. Ces physiciens

ont observé qu'après avoir cessé, le dégagement gazeux pouvait reprendre, pourvu qu'on interrompe le courant pendant quelque temps ou bien encore qu'on change le sens du courant; mais ils n'ont point précisé la cause du phénomène.

En fait, il suffit, *pour que l'électrolyse reprenne, de sortir l'électrode large, de la chauffer et de la plonger à nouveau après l'avoir laissé refroidir.* Le galvanomètre intercalé dans le circuit dévie brusquement au moment où l'on plonge la lame et le spot ne revient au zéro qu'après plusieurs minutes. Bien que la petite électrode soit toujours polarisée, des bulles se forment : en effet, il se produit nécessairement un courant servant à polariser la large lame, tandis que, la petite électrode toujours saturée ne pouvant absorber plus de gaz, des bulles peuvent se former.

Inversement, si, lorsque tout dégagement a cessé, *on sort la petite électrode et on la chauffe, au moment où on la replonge on n'obtient pas d'électrolyse visible :* l'électrode large restant saturée, il se produit un courant qui sert à polariser la petite; puis, dès qu'elle est saturée, tout courant cesse. Le galvanomètre interposé dans le circuit dévie brusquement, mais le spot revient presque instantanément au zéro. De même l'électrolyse n'aura pas lieu si, à la place d'une électrode de platine poli, on emploie une lame de platine platiné déjà saturée de gaz : le courant passe pendant le temps nécessaire à la saturation de la petite électrode; mais, dès que cette saturation est complète, tout courant cesse, et par conséquent il ne se forme pas de bulles.

Si le dégagement gazeux a pour cause, comme nous l'avons annoncé, un phénomène de saturation, il est évident que *l'électrolyse devra durer d'autant plus longtemps que la dissymétrie entre les deux électrodes sera plus prononcée.* Plus la grande électrode sera large, plus l'électrolyse durera longtemps. C'est bien en effet ce que l'expérience vérifie : ayant construit un voltamètre avec une cathode formée d'un fil de 4 millimètres de long et de $0^{mm},2$ de diamètre et une très large anode de $329^{cm},3$ de surface et de $0^{mm},47$ d'épaisseur, toutes deux placées dans un bac contenant plusieurs litres d'eau acidulée par l'acide sulfurique en solution normale, j'ai pu obtenir pendant toute une journée un dégagement de fines bulles gazeuses et recueillir au sommet d'une éprouvette quelques millimètres cubes d'hydrogène. Dans le cas où l'on prend la large lame comme cathode, on obtient à la pointe anode un dégagement de fines bulles d'oxygène très abondant au début, mais qui cesse au bout de très peu de temps. On

sait, en effet, d'après les expériences de M. Bouty, que la polarisation par l'oxygène est très lente, tandis que la polarisation par l'hydrogène est très rapide; mais, d'autre part, la force électromotrice de polarisation par l'oxygène est beaucoup plus grande. La force contre-électromotrice du voltamètre devient donc très grande pour deux raisons : 1° parce que la large lame est rapidement polarisée par l'hydrogène; 2° parce que la polarisation de la petite électrode par l'oxygène crée une grande force contre-électromotrice.

Tous les phénomènes que j'ai décrits ci-dessus sont particulièrement nets avec l'eau acidulée par l'acide sulfurique au dixième (solution décinormale). Ils présentent une assez grande régularité pour pouvoir être reproduits à volonté et répétés à plusieurs reprises.

Ils peuvent s'expliquer par les considérations simples que j'ai exposées ci-dessus, sans avoir besoin d'admettre l'existence, dans la solution, d'ions spéciaux (H^+, O^{--}) qui passeraient à l'état de matière pour la force électromotrice de $1^v,08$, tandis que les ions (H^+, OH^-) ne se dégageraient qu'à la force électromotrice $1^v,56$.

On s'expliquerait mal, dans cette dernière hypothèse, pourquoi, après avoir commencé, l'électrolyse s'arrête.

Le rôle joué par la large lame explique au contraire entièrement cette particularité.

Pour indiquer que l'électrolyse à $1^v,08$ est due à l'artifice de la dissymétrie des électrodes et précède l'électrolyse permanente, nous l'avons appelée *électrolyse apparente ou avancée.*

ÉLECTRODES D'OR ET DE PALLADIUM.

Les expériences faites avec des électrodes d'or et de palladium m'ont confirmé dans l'idée qu'un voltamètre à électrodes formées par ces métaux précieux se comporte comme une véritable pile secondaire pour des forces électromotrices bien inférieures à celle qui produit l'électrolyse visible. Il s'est déjà produit pour ces forces électromotrices *de véritables réactions chimiques et non pas seulement des charges électriques des électrodes.* Les courbes inscrites par l'oscillographe montrent que plus le métal est absorbant, plus l'intensité décroît lentement.

L'or absorbe moins que le platine, et celui-ci moins que le palladium.

Je n'ai pas pu observer avec le palladium l'électrolyse apparente au voisinage de 1 volt. Il aurait fallu pour cela employer comme électrode une lame beaucoup plus large que celle dont je pouvais disposer. Comme le palladium absorbe des quantités énormes d'hydrogène, la large anode était déjà totalement polarisée par l'oxygène bien avant que le fil fin se soit saturé d'hydrogène.

ÉLECTRODES DE MERCURE [1].

Il existe quelques différences entre la polarisation des électrodes de platine et celle des électrodes de mercure. Elles tiennent simplement à la nature du mercure et à son état physique.

Ainsi, le mercure s'oxyde et forme facilement des sels au contact des acides ; ces divers composés se forment plus rapidement encore sous l'action du courant électrique, à la surface d'une anode de mercure, et, par suite, la courbe de polarisation anodique doit avoir une allure toute spéciale.

La diffusion des gaz électrolytiques se fait plus rapidement à l'intérieur du mercure, qui est liquide, que dans les métaux solides, et; d'autre part, le mercure dissout beaucoup moins d'hydrogène que le platine et le palladium. Aussi, la courbe de polarisation cathodique du mercure diffère assez notablement, au moins en apparence, de la courbe correspondante du platine.

POLARISATION ANODIQUE DU MERCURE.

Utilisée comme anode, une électrode de mercure se polarise si lentement que, pour les forces électromotrices un peu élevées, la forme de la courbe fournie par l'oscillographe est tout à fait analogue à la courbe d'établissement d'un courant constant. Pour les petites forces électromotrices, on observe une chute rapide d'intensité suivie d'un courant résiduel. La forme de la courbe se rapproche alors de celle du platine. Pendant toute la durée du passage de ce courant, l'électrode se modifie ; il s'établit une force contre-électromotrice, et au bout d'un certain temps le courant diminue.

---

[1] Je passe sous silence les précautions nombreuses qu'il faut prendre pour construire un voltamètre à électrodes de mercure, la distillation et la purification du mercure, qui doit être privé non seulement de métaux étrangers, mais aussi de gaz occlus.

Avec de très larges électrodes, le temps est si long qu'on peut presque négliger la polarisation dans des expériences de quelques secondes de durée. La polarisation est au contraire rapide pour des électrodes capillaires ; mais, en mettant dans le circuit de grandes résistances, on peut encore conserver pendant plusieurs secondes un courant à peu près rigoureusement constant. Ainsi, en introduisant dans le circuit une résistance $R + R' = 11110$ ohms, j'ai obtenu pour la force électromotrice 0,73 volt un courant constant de 0,0005 ampère pendant plusieurs secondes. Ce sont ces courants de longue durée que M. du Moncel attribuait à un effet de dépolarisation. En réalité, je crois qu'il est préférable de les appeler des courants de polarisation, car c'est seulement lorsqu'ils ont pris fin que l'électrode est polarisée. On réserverait alors le nom de courant de dépolarisation au courant résiduel, qui sert seulement à compenser les pertes par diffusion (1).

POLARISATION CATHODIQUE DU MERCURE.

La courbe de polarisation cathodique inscrite par l'oscillographe diffère totalement de la courbe anodique. La forme générale est indiquée dans la figure ci-dessous (*fig.* 11). On peut la diviser en trois

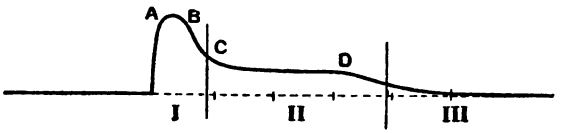


Fig. 11.

portions distinctes : 1° la portion ABC ; 2° la portion CD ; 3° la portion située au delà de D. Cette dernière correspond au courant résiduel, courant de dépolarisation dont l'intensité est trop faible et les variations trop lentes pour qu'on puisse employer utilement l'oscillographe à son étude. Il est nécessaire d'avoir recours au galvanomètre (2). La courbe ABCD tout entière est décrite dans un temps en général inférieur à $\frac{5}{100}$ de seconde ; l'intensité est suffisante pour que

(1) J'ai indiqué, dans les *Ann. de chim. et de phys.*, quelques exemples numériques à l'appui de cette opinion, 8e série, t. I, p. 434; 1904.

(2) Voir *Ann. de chim. et de phys.*, 8e série, t. I, p. 464 ; avril 1904.

l'oscillographe en puisse suivre tous les détails. Les trois portions de courbe ne sont pas délimitées d'une façon absolue. Il y a continuité complète dans les phénomènes de polarisation. Comme il faut s'y attendre, la forme générale de la courbe varie avec la forme des électrodes et la nature de l'électrolyte ; mais elle présente en général deux paliers en AB et CD, dont le second surtout est très accentué. Ces paliers indiquent que l'intensité demeure sensiblement constante pendant quelques millièmes et quelquefois quelques centièmes de seconde. Dans la suite de l'exposé, j'appellerai toujours le palier AB correspondant au premier passage du courant *premier palier*. Le second palier CD, plus accentué, portera le nom de *palier principal*.

Les phénomènes auxquels correspondent les paliers, bien que ne durant que pendant un aussi court intervalle de temps, sont pourtant d'une parfaite régularité, comme on peut s'en assurer en faisant plusieurs clichés successifs. Dans plusieurs opérations consécutives, les courbes se reproduisent identiques à elles-mêmes. Afin d'analyser les détails de ces phénomènes, qui, à ma connaissance, n'ont jamais été signalés jusqu'ici, j'ai fait varier dans de nombreuses expériences les conditions d'observation, la forme des électrodes, la nature de l'électrolyte, et cherché, par l'étude approfondie de ces courbes, à pénétrer plus intimement dans la connaissance des phénomènes de polarisation.

1° *Effet de surface et effet de volume.* — On peut se convaincre immédiatement que la portion 1 correspond à *un effet de surface*, la portion 2 à un *effet de volume*, en utilisant des cathodes de même surface, mais de volumes différents : l'expérience montre que les portions initiales des courbes correspondantes sont rigoureusement superposables ; en effet, j'ai obtenu plusieurs clichés de comparaison à très grande vitesse, afin de mettre en évidence les moindres différences, en étalant beaucoup la courbe dans le sens de l'axe des temps, et, malgré cela, les portions initiales des courbes ont toujours été superposables. Au contraire, le palier CD tend à s'allonger à mesure que le volume de l'électrode est plus grand. L'effet est faible, mais cependant nettement visible sur tous les clichés que j'ai obtenus dans ces conditions.

2° *Variation de la forme de la courbe avec la surface de la cathode.* — Les courbes de polarisation cathodique ont des ordonnées d'autant plus grandes et des durées totales d'autant plus longues que les surfaces du ménisque sont plus grandes, et, au moins en première

approximation, l'allongement semble proportionnel à la surface.

3° *Existence d'un état limite.* — En mettant en court-circuit les électrodes d'un voltamètre déjà polarisé, on pourrait s'attendre, pour les forces électromotrices inférieures à celle de l'électrolyse permanente, à ce que le voltamètre se décharge complètement et revienne à l'état primitif. C'est ce qu'on suppose généralement et, en fait, au bout de quelques instants, le voltamètre n'est plus traversé que par un courant inappréciable. Pourtant on se tromperait grossièrement en supposant le voltamètre revenu à un état identique à l'état initial : en effet, si à ce moment on charge une deuxième fois le voltamètre, la courbe obtenue dans cette deuxième opération, qui devrait être identique à la première, en diffère totalement. Le palier principal a disparu, ou tout au moins est considérablement atténué. *Donc le phénomène qui correspond à ce palier n'a lieu que dans la première opération*, qui produit une modification profonde, ne disparaissant ensuite que très lentement avec le temps. Pourtant, en laissant les électrodes en court-circuit pendant plus d'une heure, souvent même plusieurs heures, on retrouve finalement une courbe de charge identique à la première. D'ailleurs, la forme des courbes de charge obtenues dans des opérations successives est variable suivant le nombre des charges et des décharges, comme on peut s'en assurer en faisant subir au voltamètre des *cycles de polarisation* dont le plus simple consiste à polariser l'électrode pendant un certain temps et à mettre le voltamètre en court-circuit pendant le même temps.

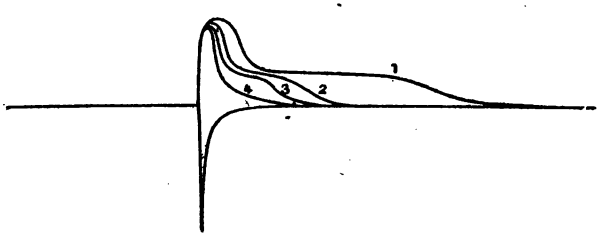


Fig. 12.

Voici un exemple pris au hasard parmi plusieurs séries d'observations. La durée des temps de charge et de décharge en court-circuit était égale à la durée de rotation du miroir tournant de l'oscillographe, 2,8 secondes. Les courbes 1, 2, 3, 4 (*fig.* 12) sont les courbes de charge successives. On voit que la courbe 2 diffère essentielle-

ment de la première; le palier existe encore, mais il est beaucoup moins long; il est à peine indiqué dans la courbe 3 et disparaît complètement dans la courbe 4. Les opérations suivantes fournissent des courbes superposables à la courbe 4. *On arrive donc, au bout d'un nombre suffisant d'opérations, à un état limite.*

Cet état peut être atteint beaucoup plus rapidement si, laissant constant le temps de décharge 2,8 secondes, on augmente la durée du temps de charge. En faisant le temps de charge égal à 1 minute, l'état limite est atteint au bout de la deuxième opération. Inversement, si, chargeant seulement pendant quelques secondes, on augmente les durées de la décharge, on obtient des courbes de charge différentes, présentant de nouveau un palier accentué.

On voit donc que *la capacité de polarisation d'un voltamètre à électrodes de mercure n'est définie que si l'on se donne, en même temps que les dimensions des électrodes, les durées de charge et de décharge. Elle n'est définie qu'à l'état limite et pour un cycle de polarisation bien déterminé.*

Ces expériences prouvent aussi que, même après avoir été mises en court-circuit, les électrodes possèdent des résidus de polarisation.

J'ai repris toutes ces expériences par la méthode balistique, en mesurant la quantité d'électricité qui traverse le voltamètre, après lui avoir fait décrire un cycle déterminé d'opérations (polarisation et dépolarisation pendant des temps donnés). Ces mesures ont entièrement confirmé les résultats obtenus à l'aide de l'oscillographe.

4° *Influence de la résistance du circuit sur la forme des courbes de charge.* — La forme des courbes varie avec l'intensité initiale et, par suite, avec la résistance du circuit. La longueur des paliers est d'autant plus grande que l'intensité est plus faible. Ce résultat est encore confirmé par les mesures balistiques.

5° *Analogie avec un accumulateur.* — L'inscription des courbes de charge et de décharge sur une même plaque montre que les courbes de décharge en court-circuit sont rigoureusement superposables dans plusieurs opérations consécutives.

La courbe de décharge est d'ailleurs absolument indépendante de la courbe de charge et de l'intensité du courant pendant la charge. On est donc conduit à comparer le voltamètre, même avant l'électrolyse visible, à un accumulateur. Tout se passe comme si on avait affaire à une pile secondaire qui possède entre ses électrodes une force électromotrice déterminée. Par cette analogie on peut expliquer les résidus de

polarisation très simplement, sans invoquer la pénétration de charge comme le font les physiciens qui désirent pousser jusque dans les détails l'analogie du voltamètre avec un condensateur. On peut logiquement admettre que la première charge du voltamètre exige une quantité d'électricité plus grande que les suivantes, parce qu'elle doit produire non seulement la polarisation superficielle, mais aussi la saturation de l'électrode. Dans les décharges en court-circuit, la polarisation superficielle est immédiatement détruite, mais la modification interne de l'électrode subsiste et ne se détruit qu'à la longue. Quelle est la nature de cette modification ?

6° *Le palier principal correspond à une altération de l'électrode polarisable.* — Le palier principal ne correspond pas à une altération du liquide au voisinage de l'électrode : en effet, on peut, après la première opération, agiter le liquide électrolytique de façon à renouveler les surfaces de contact, on peut même sortir l'électrode du bain, agiter avec l'électrode elle-même sans que les résidus disparaissent. On ne peut donc attribuer le palier à la formation d'une pile de concentration provenant d'une variation de concentration de l'électrolyte au voisinage de l'électrode. On ne peut l'attribuer davantage à l'oxygène dissous dans l'électrolyte. Il n'est pas dû non plus à une modification de la large électrode, car, laissant dans le voltamètre le large mercure et l'électrolyte ayant déjà servi dans l'opération précédente, il suffit de changer le mercure du tube électrode pour retrouver la courbe primitive avec son palier. Le phénomène se reproduit d'une façon si régulière que je m'en suis servi journellement, pour vérifier que rien n'était déréglé dans mes dispositifs, en employant la méthode des expériences croisées.

7° D'ailleurs, *on peut remplacer le large mercure par une large lame de platine, sans modifier la forme générale de la courbe de charge*, ce qui prouve bien que les paliers sont dus à la cathode polarisable.

8° *Les dimensions de la large électrode n'ont qu'une faible influence sur la forme générale de la courbe.*

9° *Au contraire, cette forme varie notablement avec la force électromotrice.* — Le phénomène correspondant aux paliers est limité par la force électromotrice : pour les très petites forces électromotrices, la polarisation est rapide, le palier principal n'existe pas; il commence à s'amorcer pour la force électromotrice 0,2 volt et devient d'autant plus accentué que la force électromotrice est plus élevée. Cette remarque permet de préciser la nature du phénomène chimique

qui correspond aux paliers. On pourrait croire en effet qu'il y a réduction d'un oxyde ou d'un sel de mercure agissant comme dépolarisant. Le mercure employé pourrait contenir des traces d'oxyde que même des distillations successives ne peuvent faire disparaître complètement, ou bien de l'oxygène dissous. On pourrait croire encore que des bulles d'air invisibles adhèrent aux parois des électrodes et agissent comme dépolarisant. S'il en était ainsi, il faudrait une certaine force électromotrice pour produire ces réactions chimiques secondaires; mais, dès que l'énergie mise en jeu serait suffisante, la réduction devrait continuer jusqu'à ce que tout le sel de mercure ait été réduit, ou tout l'oxygène dissous transformé en eau. L'expérience prouve exactement le contraire : il faut donc chercher une autre explication.

Écartant la supposition d'une réduction, nous sommes conduits à faire une hypothèse : nous admettons que le palier correspond à l'introduction d'hydrogène dans l'électrode. L'état liquide du mercure et les propriétés bien connues de l'hydrogène rendent la diffusion du gaz dans le volume de l'électrode très rapide, d'où le palier accentué que présentent les courbes. Mais on sait bien que le mercure n'absorbe que des quantités de gaz extraordinairement faibles. L'hypothèse ci-dessus serait donc inacceptable, si les quantités d'hydrogène dont j'admets l'introduction dans l'électrode étaient grandes. Il faut donc chercher à déterminer au moins l'ordre de grandeur des quantités d'hydrogène mises en jeu. On en obtient la valeur approchée en mesurant l'aire de la courbe et appliquant la loi de Faraday, pour en déduire la quantité d'hydrogène correspondante. Les volumes d'hydrogène sont de l'ordre du millième de millimètre cube, comme je l'ai fait voir par de nombreux exemples dans une autre publication [1]. Il n'est donc pas invraisemblable que d'aussi faibles quantités d'hydrogène puissent être absorbées par l'électrode de mercure. L'analyse chimique ne peut pas les déceler. Aussi n'admettons-nous momentanément cette explication *que comme une hypothèse.*

10° *Variation de la forme de la courbe avec la concentration de la solution.* — Mais cette hypothèse est conforme, au moins d'une façon générale, aux idées de M. Nernst sur la pression de dissolution.

On se rappelle que, d'après ce physicien, les ions d'une solution

---

[1] *Ann. de chim. et de phys.*, 8e série, t. I, p. 658; avril 1904.

se déposent à l'état de matière sur les électrodes, supposées inattaquables, en quantité plus ou moins grande, suivant la valeur de la force électromotrice extérieure : la force contre-électromotrice est proportionnelle au logarithme du rapport P entre la pression de dissolution des ions déposés à l'état de matière et la pression osmotique des ions dissous. S'il en est ainsi, la quantité d'ions d'hydrogène absorbés par la cathode, pour une force électromotrice déterminée, devra dépendre de la concentration de la solution en ions hydrogène ; à force électromotrice égale, le palier principal devra être d'autant plus accentué que la solution sera plus riche en ions hydrogène. L'expérience montre, en effet, que la forme des courbes de polarisation dépend de la concentration de l'eau acidulée en acide sulfurique ou en acide chlorhydrique. Par exemple, les courbes de la *fig.* 13 indiquent les variations de forme dans le cas de l'acide sulfurique.

Courbes

1. . . . . solution centinormale
2. . . . . $\frac{1}{50}$ normale
3. . . . . décinormale
4. . . . . normale, densité 1,063
5. . . . . binormale, densité 1,124
6. . . . . densité 1,225 (maximum de conductibilité)
7. . . . . densité 1,3
8. . . . . densité 1,52
9. . . . . densité 1,74

Toutes les courbes ne présentent pas un palier également accusé.

Le palier le plus accentué correspond à la solution environ binormale. Pour la solution qui présente le maximum de conductibilité (plus petite résistance, densité 1,225), l'aire de la courbe est sensiblement moindre, et le palier est beaucoup plus incliné sur l'axe des temps.

Or, d'après sa définition même, la conductibilité γ d'une solution est égale à sa conductibilité moléculaire μ multipliée par le nombre n de molécules dissoutes dans l'unité de volume, $\gamma = n\mu$.

D'autre part, on sait que la conductibilité est proportionnelle au nombre N d'ions dissous et à leur vitesse relative $(u + v)$ à égalité de champ électrique :

$$\gamma = n\mu = \mathrm{KN}\,(u + v).$$

Considérons une série de solutions assez peu concentrées pour que la vitesse des ions puisse être considérée comme constante, pour un même champ électrique ; le nombre d'ions est alors proportionnel au produit $n\mu$ ou à la conductibilité. Mais, dès que la concentration devient un peu grande, il n'est plus possible de supposer $(u + v)$ constant : on ne peut donc plus dire que le nombre d'ions est proportionnel à la conductibilité.

Dans le tableau ci-dessous, la première colonne contient le nombre n de molécules dissoutes dans un litre de solution (eau acidulée par l'acide sulfurique), la seconde les conductibilités moléculaires μ, la troisième les produits $n\mu$, la quatrième les densités [1].

n	μ	$n\mu$	d
0,5291	370	190	1,033
1,089	336,7	367	1,067
1,689	300,8	508	1,103
2,326	288	670	1,141
4,149	163,1	677	1,221
5,329	108,2	576	1,306
7,15	60	423	1,398
9,2	29,6	272	1,502
11,5	12,33	141,7	1,615
14,15	7,30	103,3	1,732
15,5	5,97	92,6	1,782
16,7	6,02	100,5	1,816
17,8	5,38	96	1,836

D'après ce tableau, le produit $n\mu$ est maximum pour la solution contenant environ 4 molécules par litre. Il varie d'ailleurs très lentement quand le nombre des molécules dissoutes croît de 2 à 4. D'après les courbes de la *fig.* 13, le palier devient de plus en plus net à mesure que la concentration augmente jusqu'à la solution environ binormale, puis il s'incline sur l'axe des temps pour s'évanouir complètement quand la solution est très concentrée. On peut donc dire que, *d'une façon générale*, la netteté du palier varie dans le même sens que le produit $n\mu$ et passe aussi par un maximum. Mais les deux maximums n'ont pas lieu pour la même concentration, ce qui peut tenir en partie à la différence de vitesse des ions.

En tous cas, le palier n'existe pas pour les solutions très étendues ou très concentrées qui contiennent peu d'ions ; il est très accusé

---

[1] Nombres extraits du livre de M. Ostwald, *Lehrbuch der allgemeinen Chemie*, p. 724.

pour les solutions voisines de la conductibilité maxima qui sont très riches en ions. L'absorption par le mercure de petites quantités

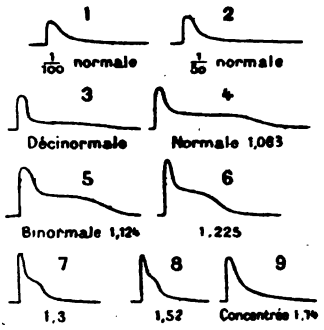


Fig. 13.

d'hydrogène permet ainsi d'expliquer la forme de la courbe de polarisation cathodique ; on peut même prévoir, d'une façon générale, les variations de forme avec la concentration.

CONCLUSION.

Les différentes méthodes que j'ai employées au cours de ces recherches, aussi bien la méthode du galvanomètre que celle de l'oscillographe, m'ont conduit à conclure qu'il y a *continuité entre la polarisation et l'électrolyse ;* d'autre part, j'ai montré qu'il existe entre les *polarisations anodique et cathodique* de très grandes *dissymétries ;* il semble presque impossible d'expliquer ces différents faits en admettant uniquement la théorie trop simple de la couche double.

Au contraire, on peut se faire des phénomènes de polarisation une idée que je crois beaucoup plus conforme à la réalité en admettant, d'une part, conformément à la théorie des ions, que déjà, pour les petites forces électromotrices, les ions se déposent aux électrodes, et, d'autre part, avec M. Berthelot et M. Bouty, que pendant la polarisation, avant l'électrolyse visible, il peut se former aux électrodes de véritables produits chimiques. On peut alors se représenter l'ensemble des phénomènes par l'image suivante :

Nous admettrons, conformément à la théorie des ions, qu'au moment où l'on établit une différence de potentiel entre les électrodes du voltamètre, supposées formées d'un métal autre que le

cathion, les ions s'accumulent aux électrodes. Si l'on suppose qu'il existe, au contact de chaque électrode et de l'électrolyte, une couche double préexistante, cette couche double sera modifiée. Le premier effet du passage du courant consiste donc en une modification de la couche double, quelle que soit d'ailleurs son origine ou sa nature : la quantité d'électricité correspondant à cette modification est proportionnelle à la surface. Il existe donc d'abord un *effet de surface.*

C'est à cet effet qu'on peut attribuer, au moins en partie, le premier palier des courbes de polarisation représentant les variations de l'intensité en fonction du temps.

Mais, en réalité, le phénomène est plus complexe ; nous admettrons aussi, avec MM. Berthelot et Bouty, qu'aucune électrode n'est rigoureusement inattaquable ou imperméable aux produits de l'électrolyse ; ceux-ci forment avec les électrodes des composés ou simplement des dissolutions : en tout cas les ions pénètrent de l'extérieur vers l'intérieur de l'électrode, en perdant leur charge et se transformant en matière ; pour maintenir la polarisation, de nouveaux ions remplacent les premiers. Le courant servant à compenser cette dépolarisation due à la diffusion correspond à *un effet de volume* que je crois être le premier à avoir mis en évidence.

C'est à cet effet de volume qu'il faut attribuer le palier principal des courbes de polarisation. Pour une force électromotrice donnée, ce palier est d'autant plus accentué que la solution contient un plus grand nombre d'ions ; il est d'autant plus allongé que l'électrode est plus absorbante.

Cet effet de volume ne peut s'expliquer que par la formation de composés ou de dissolutions. Au contraire, il n'est nullement besoin de supposer que les ions exercent une action quelconque sur les électrodes pour expliquer l'effet de surface. Il semble néanmoins probable, sans qu'on puisse l'affirmer, que les phénomènes de diffusion se produisent dès que le courant passe et que la première portion des courbes de polarisation correspond à la fois à l'effet de surface et à l'effet de volume.

C'est également l'effet de volume qui permet d'expliquer *l'électrolyse avancée ou apparente* de l'eau acidulée entre électrodes de platine : les gaz se dégagent à une des électrodes seulement pendant que l'autre se sature, cela pour une force électromotrice capable de produire les réactions secondaires aux électrodes, mais insuffisante pour maintenir l'électrolyse permanente. Il en résulte cette consé-

quence importante, dès que la force électromotrice est un peu élevée, qu'on ne peut pas négliger, dans la mesure des capacités de polarisation, la polarisation de la large lame; c'est précisément à cause des dimensions de cette électrode que le courant continue à passer quand la petite lame est déjà entièrement polarisée.

C'est également dans l'effet de volume qu'on trouve l'explication des *résidus* qui ne disparaissent qu'avec une extrême lenteur; à cause de ces résidus, la capacité de polarisation d'un voltamètre dépend, en même temps que de la surface des deux électrodes, de leur état antérieur et du temps pendant lequel elles ont été mises en court-circuit. Néanmoins on peut définir complètement la capacité, à condition de décrire des cycles de polarisation qui permettent d'atteindre, au bout d'un certain nombre d'opérations, un *état limite*.

On voit donc que l'analogie entre le voltamètre polarisé et le condensateur ne peut pas être poussée très loin; sans doute l'effet de surface peut être comparé à la charge du condensateur, avec cette différence que ce sont les ions qui, par leur charge, modifient la couche double. Mais là s'arrête l'analogie. L'effet de volume oblige à comparer aussi le voltamètre à une véritable pile secondaire.

Un voltamètre est donc en quelque sorte équivalent à *un condensateur auquel est associé un accumulateur* (Bouty). Tout courant cesserait après la charge et la saturation des électrodes sans la diffusion des ions ou de leurs produits secondaires dans l'électrolyte qui est, par suite, le siège d'un courant résiduel. L'étude de ce courant résiduel revient donc à une étude de diffusion [1].

L'oscillographe, qui m'a été un auxiliaire précieux en me permettant de suivre et d'analyser des phénomènes de quelques millièmes de seconde de durée, permettra, par des études approfondies, de pénétrer de plus en plus le mécanisme intime de la polarisation.

La méthode de l'oscillographe me paraît extrêmement féconde et ne manquera pas, dès que son emploi se sera généralisé, de conduire les physiciens à de nombreux résultats nouveaux pour tous les phénomènes électriques de courte durée, qui sont restés jusqu'à présent à peu près inaccessibles à l'expérience.

J'ai entrepris, par cette méthode, l'étude de la formation des

---

(1) C'est ainsi que l'ont envisagé plusieurs auteurs dans des travaux tout récents : F.-G. Cottrel, *Zeits. für physik. Chem.*, t. XLII, 1903, p. 385; Grassi, *Zeits. für physik. Chem.*, t. XLIV, 1903, p. 460.

alliages et des amalgames par électrolyse des sels métalliques entre électrodes solides ou électrodes de mercure. Elle donnera aussi des renseignements précis sur les particularités curieuses que présente l'électrolyse par le courant alternatif [1]. C'est par des expériences de ce genre que je continue mes recherches sur la polarisation.

Cohésion diélectrique des mélanges;

Par M. E. Bouty [2].

INTRODUCTION.

1. Dans un premier mémoire [3], j'ai précisé la notion de *cohésion diélectrique* d'un gaz et montré, par quelques exemples, dans quelles conditions cet élément doit être déterminé, quelle est la précision que comportent les mesures, enfin quels liens unissent la cohésion diélectrique et les champs critiques à la distance explosive.

2. J'ai montré dans un second mémoire [4] que la cohésion diélectrique à volume constant est un élément indépendant de la température, comme la densité ou l'indice de réfraction. C'est une constante caractéristique d'une propriété atomique.

3. Il était intéressant de savoir si cette propriété se conserve dans les mélanges de gaz sans action chimique. On sait qu'au degré d'approximation que comporte la fiction des gaz parfaits chaque gaz conserve dans un tel mélange la densité qui lui est propre : c'est-à-dire que, V, v_1, v_2, v_3, ... représentant les volumes, sous une même pression arbitraire, du mélange et des gaz mêlés, D, d_1, d_2, d_3, ... les densités correspondantes, on a :

$$(1) \qquad VD = v_1 d_1 + v_2 d_2 + v_3 d_3 + \ldots = \Sigma v d.$$

---

(1) Voir à ce sujet les travaux récents de MM. Warburg, Wien, Krüger : Warburg, *Wied. Ann.*, t. LXVII, 1899, p. 493 ; *Ann. der Phys.*, t. VI, 1901, p. 125 ; — Wien, *Ann. der Phys.*, t. VIII, 1902, p. 372 ; — Kruger, *Zeits. für physik. Chem.*, t. XLV, 1903, p. 1.

(2) Séance du 1er juillet 1904. — Ce mémoire développe et remplace les notes suivantes publiées dans les *Comptes Rendus de l'Académie des sciences :* 1° *Sur la cohésion diélectrique des mélanges gazeux*, t. CXXXVI, p. 669 ; 1903 ; — 2° *Cohésion diélectrique de l'argon et de ses mélanges*, t. CXXXVII, p. 616 ; 1904.

(3) Voir *Bulletin des Séances*, p. 96 ; 1903 ; — et *J. de Phys.*, 4e série, t. II, p. 401 ; 1903.

(4) Voir ce recueil, p. 232, et *J. de Phys.*, t. III, p. 12 ; 1904.

Cette équation exprime que chaque gaz conserve dans le mélange ce qu'on peut appeler son *individualité moléculaire*.

4. La cohésion diélectrique à volume constant, invariable avec la température comme la densité à volume constant, se conserve-t-elle aussi sans altération dans les mélanges, de telle sorte que, C, c_1, c_2, c_3 représentant la cohésion diélectrique du mélange et de ses composants, on ait :

$$(2) \qquad VC = v_1c_1 + v_2c_2 + v_3c_3 \ldots = \Sigma vc?$$

Cette équation, exprimant ce que nous appellerons désormais *la loi des moyennes*, manifeste la conservation de l'individualité des gaz mêlés, au point de vue *électrique* ou *ionique;* il n'est nullement évident *a priori* que cette nouvelle sorte d'individualité accompagne nécessairement la première.

Il convient donc d'étudier avec soin des mélanges très divers. Nous devrons surtout nous garder des généralisations trop hâtives.

5. La cohésion diélectrique n'est pas susceptible de mesure directe. Ce sont les champs critiques qui font l'objet immédiat de nos comparaisons.

Nous avons démontré que le champ critique est la somme de deux termes : l'un largement prépondérant aux pressions supérieures à quelques millimètres de mercure (*pressions élevées*); l'autre important seulement aux pressions inférieures à 1 millimètre par exemple (*pressions basses*). Ce dernier terme est lié à l'état de la paroi, ou mieux de la couche gazeuse adhérente. Nous savons déjà qu'il est plus ou moins profondément altéré par une élévation de température [1]. Nous devons nous attendre aussi à ce qu'il ne se conserve point dans les mélanges. Soient Y, y_1, y_2, ... les champs critiques du mélange et des composants pour une même pression arbitraire. La relation :

$$(3) \qquad VY = \Sigma vy,$$

exprimant, comme la relation (2), une loi de moyenne, a peu de chance de se trouver vérifiée d'une manière générale; mais elle peut s'approcher de plus en plus d'être exacte à mesure que la pression s'élève, et alors sa vérification entraîne celle de la relation (2).

---

[1] Voir *Bulletin des Séances*, p. 246; 1903; — et *J. de Phys.*, 4e série, t. III, p. 26; 1904.

6. Nous pouvons procéder de deux manières : soit comparer les valeurs de VY et de Σvy pour toutes les pressions, soit employer l'ensemble des mesures exécutées sur un mélange à déterminer la cohésion diélectrique C qui lui est propre, et comparer VC et Σvc. Ces deux méthodes se contrôlent mutuellement; nous les avons employées tour à tour.

7. La vérification des formules (2) ou (3) ne comportant de précision qu'à la condition que les cohésions diélectriques à comparer soient assez largement différentes, j'ai particulièrement insisté sur les mélanges dont l'un des éléments est l'hydrogène; ce gaz présente en effet une cohésion diélectrique très notablement inférieure à celle de tous les gaz communs.

L'argon jouit de propriétés électriques exceptionnelles, et ses mélanges ont aussi fait l'objet d'une étude spéciale.

8. Toutes les mesures relatées dans ce mémoire sont absolument comparables entre elles. Elles ont été faites par la méthode des effluves, avec un même ballon plat de verre de $5^{cm},4$ d'épaisseur placé entre deux plateaux métalliques dont le plus petit avait 32 centimètres de diamètre. La distance des plateaux était de $6^{cm},5$. Ce sont les conditions mêmes dans lesquelles ont été déterminés, pour l'hydrogène, l'air et l'acide carbonique, les nombres définitifs que j'ai publiés antérieurement [1].

---

[1] Voir *Bulletin des Séances*, p. 108, 110 et 111 ; 1903 ; — et *J. de Phys.*, 4e série, t. II, p. 413, 415 et 416 ; 1903.

CHAPITRE I.

ÉTUDE DES GAZ EMPLOYÉS DANS LES MÉLANGES.

9. Parmi les gaz employés se trouvent l'hydrogène, l'air et l'acide carbonique. Pour ces gaz, il suffira de rappeler les formules empiriques qui représentent le mieux les observations déjà publiées [1].

Hydrogène. — Cohésion diélectrique, 205.

$$y = 205\sqrt{p(p+2{,}25)} + \frac{0{,}034}{p^2}. \tag{4}$$

Air. — Cohésion diélectrique, 419.

$$y = 419\sqrt{p(p+1{,}4)} + \frac{0{,}84}{p}. \tag{5}$$

Acide carbonique. — Cohésion diélectrique, 418.

$$y = 62 + 418\sqrt{p(p+0{,}8)} + \frac{0{,}00052}{p^2}. \tag{6}$$

Les pressions p sont évaluées en centimètres de mercure; les champs critiques y, en volts par centimètre.

10. A ces trois gaz, on a joint l'oxyde de carbone, le protoxyde d'azote, l'azote atmosphérique, enfin l'acétylène, auxquels se rapportent les tableaux I, II, III, IV.

Quant à l'argon, son étude se trouve inséparable de celle de ses mélanges et donnera lieu à un chapitre spécial.

11. *Oxyde de carbone.* — Ce gaz, préparé par l'action de l'acide sulfurique pur sur l'acide formique pur, était entièrement absorbable par le sous-chlorure de cuivre en dissolution dans l'acide chlorhydrique. Il a fourni des résultats extrêmement réguliers, comme le montre le tableau suivant :

---

(1) *Loc. cit.*

I. — *Oxyde de carbone.*

Pression	y		
	Observé	Calculé	Différence
4,354	2420	2439	+ 19
3,942	2206	2221	+ 15
3,024	1770	1756	— 14
2,330	1391	1398	+ 7
1,662	1085	1054	— 31
0,938	681	673	— 9
0,392	368	370	+ 2
0,192	231,5	244	+ 12,5
0,1144	186	187	+ 1
0,0969	163,5	172	+ 8,5
0,0609	134	139	+ 5
0,0322	97	97	0
0,0150	89	85,5	— 3,5
0,0183	81	89	+ 8
0,0100	90,5	81	— 9,5
0,00565	108,5	97	— 11,5
0,00317	172	177	+ 5
0,00238	275	274	— 1
0,00178	434	451	+ 13
0,00129	838	819	— 19

Les nombres calculés ont été obtenus par la formule :

$$y = 22 + 510\sqrt{p(p + 0,8)} + \frac{0,0013}{p^2}. \tag{7}$$

La cohésion diélectrique est mesurée par le nombre 510.

12. *Azote atmosphérique.* — Gaz préparé en absorbant l'oxygène de l'air par le cuivre en présence de l'ammoniaque. Le gaz était ensuite desséché et débarrassé de toute trace d'ammoniaque par son passage à travers un flacon laveur à acide sulfurique.

II. — *Azote atmosphérique.*

Pression	Y Observé	Y Calculé	Différence
4,715	2412	2414	+ 2
4,065	2082	2110	+ 28
3,327	1785	1764	— 21
2,471	1375	1361	— 14
1,238	769	774	+ 5
0,375	302,5	337	+ 34,5
0,183	183	221	+ 38
0,1049	162,5	167,5	+ 5
0,04077	139,5	120	— 19,5
0,01758	128	120,5	— 7,5
0,00679	181	185	+ 4
0,00386	242	287	+ 45
0,00210	457	497	+ 40
0,00118	878	854	— 15
0,00099	1047	1021	— 26

Formule empirique :

$$y = 465\sqrt{p(p+1)} + \frac{1}{p}. \tag{8}$$

La cohésion diélectrique est 465.

13. *Acétylène.* — Gaz préparé par l'action de l'eau sur le carbure de calcium commercial et desséché par son passage sur de l'anhydride phosphorique :

III. — *Acétylène.*

Pression	y Observé	y Calculé	Différence
3,602	2548	2386	+ 38
3,045	2065	2061	— 4
2,586	1785	1791	+ 6
1,897	1421	1406	— 15
1,359	1106	1060	— 46
0,766	715	717	+ 2
0,197	265	257	— 8
0,0129	144	175	+ 31
0,0406	127	134	+ 7
0,0202	106	115	+ 9
0,01198	99	97	— 2
0,00648	108	105	3
0,00337	145	142	— 1
0,00210	195	199	+ 4
0,00115	310	313	+ 3

La formule empirique qui a servi à calculer les nombres de la troisième colonne est :

$$y = 580 \sqrt{p\,(p + 1{,}1)} + \frac{0{,}36}{p}. \qquad (9)$$

La cohésion diélectrique est égale à 580.

14. *Protoxyde d'azote.* — Obtenu à l'aide du protoxyde d'azote liquide, sans recourir à la solidification.

IV. — *Protoxyde d'azote.*

Pression	y Observé	y Calculé	y Différence	
4,007	2475	2500	+ 25	
3,682	2341	2323	— 18	
2,958	1885	1928	+ 43	
1,606	1175	1180	+ 5	
0,496	547	522	— 25	
0,0997	218	213	— 5	
0,0320	234	131	— 103	plate-forme
0,0137	220	111	— 109	plate-forme
0,00622	237	131	— 106	plate-forme
0,00177	333	307	— 26	
0,00088	540	589	+ 49	

La formule employée :

$$y = 537 \sqrt{p\,(p + 1{,}4)} + \frac{0{,}5}{p}, \qquad (10)$$

représente fidèlement les résultats, sauf au voisinage du minimum.

La cohésion diélectrique est 537.

15. Il se présente ici une particularité curieuse. Les effluves sont peu lumineuses dans le protoxyde d'azote. Or, comme l'énergie de la décharge doit toujours dépasser une certaine limite pour fournir une lueur perceptible, il s'est trouvé, de part et d'autre du minimum du champ critique, un intervalle dans lequel la décharge minimum m'a certainement échappé. Pour apercevoir quelque chose, il a fallu atteindre un champ à peu près uniforme, de 220 à 230 volts par centimètre.

La courbe en p et y, relative aux champs critiques *observés*, présente donc, dans la région du minimum, une portion rectiligne horizontale, sorte de *plate-forme* artificielle qui disparaîtrait si l'on faisait usage de la mesure des capacités.

En effet, d'anciennes expériences que je ne crois pas utile de rapporter [1] avaient été effectuées par cette dernière méthode sur du protoxyde de même provenance. Je n'eus aucune peine à représenter l'ensemble des mesures par une formule applicable même au voisinage du minimum.

16. J'insiste sur la comparabilité de tous les nombres qui précèdent. Les valeurs absolues des cohésions diélectriques pourront être légèrement modifiées, pour tenir compte du pouvoir diélectrique des enveloppes ou de l'effet des bords du condensateur [2]; mais leurs valeurs relatives doivent être correctes à moins de 1 0/0 près.

CHAPITRE II.

COHÉSION DIÉLECTRIQUE CALCULABLE PAR LA LOI DES MOYENNES.

17. *Oxyde de carbone et hydrogène.* — Le mélange étudié contenait 51,3 d'hydrogène et 48,7 d'oxyde de carbone.

V. — *Mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène :* 51,3 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul de moyenne	Différence	Form. empirique	Différence
6,240	2438	2423	— 15	2442	+ 4
5,777	2281	2258	— 23	2279	— 2
4,499	1858	1804	— 54	1821	— 37
3,345	1348	1391	+ 43	1405	+ 57
2,395	1097	1048	— 49	1060	— 37
1,338	700	661	— 39	705	+ 5
0,403	296	274	— 22	300	+ 4
0,165	157	167	+ 10	182	+ 25
0,0854	119	128,5	+ 9,5	131	+ 12
0,0341	87	97,4	+ 10,4	89	+ 2
0,01854	79,5	115,5	+ 36	74	— 5,5
0,00706	101	403	+ 302	96	— 5
0,00389	185			203	+ 18
0,00210	622			598	— 24
0,00153	944			1096	+ 152
0,00112	1079				

Bien que la formule empirique (7) relative à l'oxyde de carbone

[1] Toutes les précautions, révélées depuis indispensables, n'ayant pas été observées, ces expériences ne sont pas directement comparables aux précédentes.

[2] Voir *Bulletin des Séances*, p. 101-103 ; 1903, et *J. de Phys.*, 4e série, t. II, p. 406-408 ; 1903.

n'ait été vérifiée que jusqu'à la pression de 4,35 centimètres et qu'on ait dû en faire usage jusqu'à 6,24 centimètres, on voit que les nombres de la troisième colonne, calculés en supposant exacte la loi des moyennes [formule (3)], sont toujours acceptables au-dessus du minimum du champ critique; mais ils s'écartent beaucoup de la vérité pour des pressions inférieures à un cinquième de millimètre. Le calcul n'a d'ailleurs été poussé que jusqu'à la pression à partir de laquelle la formule empirique (4) de l'hydrogène cesse d'être applicable.

Ainsi, pour un mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène, *la loi des moyennes s'applique avec succès au calcul des champs critiques* Y [formule (3)] *pour toute la branche supérieure de la courbe des champs critiques; elle est donc applicable au calcul de la cohésion diélectrique* C *du mélange* [formule (2)].

La même loi s'éloigne beaucoup d'être exacte quand on considère les champs critiques Y *du mélange aux pressions très basses.*

18. On arrive à cette double conclusion d'une manière encore plus frappante en cherchant à représenter les champs critiques Y du mélange par une formule empirique indépendante, c'est-à-dire dont on détermine les coefficients sans se préoccuper d'autre chose que de représenter le mieux possible les nombres observés. Les nombres de la cinquième colonne ont été ainsi calculés par la formule :

$$(11) \qquad Y = 13 + 357\sqrt{p\,(p + 1{,}2)} + \frac{0{,}0025}{p^2},$$

applicable jusqu'à une pression très basse.

La possibilité de représenter l'ensemble des champs critiques relatifs à un mélange par une formule empirique de même forme que celle qui convient à un gaz pur paraît générale et mérite d'être signalée. Un mélange gazeux se trouve ainsi assimilé électriquement à un gaz simple, intermédiaire aux gaz mêlés.

L'examen des coefficients de la formule (11) nous apprend d'abord que la cohésion diélectrique 357 du mélange ne diffère que de 1/100 de la cohésion C :

$$C = 0{,}513 \,.\, 205 + 0{,}487 \,.\, 510 = 353{,}5,$$

prévue par la *loi des moyennes* [formule (2)].

Au contraire, le coefficient 0,0025 du terme en $\frac{1}{p^2}$ dans la formule (11)

se rapproche beaucoup plus de 0,0013, coefficient de la formule (7) (oxyde de carbone), que du coefficient 0,034 de la formule (4) (hydrogène). La loi des moyennes exigerait :

$$0,513 \,.\, 0,034 + 0,487 \,.\, 0,0013 = 0,0181,$$

nombre plus de 7 fois trop fort.

Il est à remarquer que le coefficient numérique 1,2 sous le radical, dans la formule (11), est aussi plus voisin de 0,8 (oxyde de carbone) que de 2,25 (hydrogène).

19. Dès maintenant il ne nous est plus loisible de considérer la loi des moyennes comme applicable *en bloc* aux champs critiques Y, et la formule (3) doit être rejetée.

La distinction, déjà imposée par nos études antérieures, entre les propriétés de la masse gazeuse libre et de la couche gazeuse adhérente à la paroi, se trouve confirmée par l'étude des mélanges. La paroi exerce certainement une action élective, condensant plus aisément certains gaz que d'autres, l'oxyde de carbone plus que l'hydrogène par exemple. La loi des moyennes n'a donc rien à voir avec la constitution vraie de la couche adhérente; elle conduira à des résultats tout à fait inexacts pour les champs critiques aux très basses pressions. Le sens dans lequel se révèle l'inexactitude est bien d'accord avec nos prévisions.

20. Tous les mélanges dont l'un des éléments est l'hydrogène se comportent, à basse pression, comme le précédent, c'est-à-dire que, sur la seconde branche de la courbe, leur champ critique Y croît beaucoup moins vite que ne l'indiquerait la loi des moyennes. La raison en est la même : tous les gaz employés sont plus condensables par la paroi que l'hydrogène, et par conséquent leurs propriétés dominent dès que la couche adhérente fournit le terme principal dans la valeur totale du champ critique.

21. Désormais notre attention se concentrera à peu près exclusivement sur les valeurs de la cohésion diélectrique. La manière dont cet élément est calculé, d'après l'ensemble de toutes les observations à haute pression, permet en général de répondre de son exactitude avec une très faible erreur relative, qu'on le déduise soit d'une formule empirique représentant toutes les observations, soit d'une formule linéaire applicable seulement aux pressions supérieures à une certaine limite.

22. *Protoxyde d'azote et hydrogène.*

VI. — *Mélange de protoxyde d'azote et d'hydrogène :* 52,55 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen.	Différence	Formule empirique	Différence
5,672	2339	2337	— 2	2357	+ 18
5,216	2203	2170	— 33	2190	— 13
4,277	1853	1826	— 27	1846	— 7
3,254	1473	1447	— 26	1468	— 5
3,190	1455	1447	— 44	1444	— 11
1,873	958	936	— 22	950	— 8
1,256	697	691	— 6	708	+ 11
0,527	394	389	— 5	403	+ 9
0,197	191	219	+ 28	232	+ 41
0,0653	137	128,7	— 8,3	142	+ 5
0,0216	126	118,5	— 7,5	118	— 8
0,01112	172	215	+ 43	141	— 31
0,00525	177	459	+ 282	225	+ 48
0,00254	220				

23. Rappelons que les effluves très peu lumineuses du protoxyde d'azote donnaient lieu au phénomène de la *plate-forme*, au voisinage du minimum du champ critique [1]. Ici les effluves sont plus brillantes et la plate-forme a disparu. On a pu calculer la série entière des champs critiques par une seule formule empirique :

$$Y = 362\sqrt{p(p + 1,8)} + \frac{0,1}{p}, \tag{12}$$

analogue à la formule (10) relative au protoxyde d'azote.

24. La troisième colonne du tableau VI donne la valeur des champs critiques, supposés calculables par la loi des moyennes. Dans toute la branche supérieure de la courbe, ces valeurs, bien qu'un peu faibles, sont néanmoins acceptables à titre de première approximation, tandis que les nombres relatifs aux pressions très basses sont absolument à rejeter.

25. La cinquième colonne donne les nombres calculés par la formule empirique (12) et serre de très près l'observation.

La cohésion diélectrique 362 fournie par cette formule diffère à peine de 1/100 du nombre 359,2 calculé par la loi des moyennes :

$$C = 0,5255 \,.\, 205 + 0,4745 \,.\, 537 = 359,2.$$

---

[1] Voir p 140.

Le terme de y relatif aux basses pressions est en $\frac{1}{p^2}$ dans la formule (3) de l'hydrogène, en $\frac{1}{p}$ dans la formule (10) du protoxyde d'azote. Le terme correspondant de Y [formule (12)] est en $\frac{1}{p}$. Le protoxyde d'azote impose sa forme à ce terme, d'ailleurs exceptionnellement petit.

Nos conclusions sont donc les mêmes que pour le mélange précédent. *La cohésion diélectrique seule se conserve dans le mélange.*

26. *Acétylène et hydrogène.* — J'ai opéré sur deux mélanges :

VII. — *Mélange d'acétylène et d'hydrogène :* 37,3 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen	Différence	Formule empirique	Différence
5,098	2453	2512	+ 59	2475	+ 20
4,884	2391	2417	+ 26	2379	— 12
4,355	2166	2182	+ 16	2145	— 21
3,574	1793	1835	+ 42	1798	+ 5
2,644	1394	1419	+ 25	1385	— 9
1,948	1121	1104	— 17	1072	— 49
1,457	870	879	+ 9	849	— 21

On n'a reproduit dans ce tableau que les résultats relatifs aux pressions supérieures à 1 centimètre. En réalité les expériences ont été poussées jusqu'à des pressions de 1/50 de millimètre; et la formule empirique qui a servi à calculer les nombres de la cinquième colonne s'applique jusque-là. Cette formule :

$$Y = 440\sqrt{p(p+1,1)} + \frac{0,52}{p} \tag{13}$$

est de même forme que la formule (9) relative à l'acétylène.

27. Si les nombres calculés en supposant la loi des moyennes applicable (colonne 3) sont systématiquement un peu trop forts, la cohésion diélectrique 440, calculée par la formule (13), laquelle ne fournit pas de différences systématiques, est au contraire bien conforme à la loi des moyennes [1], puisque

$$C = 0,373 \,.\, 205 + 0,627 \,.\, 580 = 440,2.$$

[1] L'écart des nombres de la troisième et de la cinquième colonne tient à ce que le coefficient 1,1, sous le radical dans la formule (13), se confond avec le coefficient correspondant de l'acétylène, au lieu d'être à peu près moyen entre les coefficients relatifs aux deux gaz mêlés.

28. Le deuxième mélange d'acétylène et d'hydrogène a été obtenu avec des gaz qui contenaient, l'un et l'autre, un peu d'air. Étudié séparément, l'acétylène s'est trouvé posséder une cohésion diélectrique égale à 570, c'est-à-dire légèrement inférieure à la cohésion 580 déduite du tableau III. Par contre, l'hydrogène a présenté une cohésion diélectrique égale à 210,6 au lieu de 205. Voici les nombres fournis par le mélange :

VIII. — *Mélange d'acétylène et d'hydrogène, à volumes égaux.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen	Différence	Calcul linéaire	Différence
4,603	2039	2052	+ 13	2050	+ 11
3,731	1711	1703	— 8	1710	— 1
3,210	1516	1502	— 14	1507	— 9

Le calcul de moyenne appliqué à ces pressions élevées donne des résultats corrects. Il en est de même de la formule linéaire (14) employée au calcul de la colonne (5) :

$$Y = 255 + 390p. \tag{14}$$

La loi des moyennes fournit une valeur de C :

$$C = \frac{1}{2}(210,6 + 570) = 390,3,$$

identique à celle qui se déduit de la formule (14).

Ainsi *la loi des moyennes est applicable au calcul de la cohésion diélectrique des mélanges d'acétylène et d'hydrogène*, même quand ces gaz contiennent un peu d'air.

29. *Acide carbonique et oxyde de carbone.* — Mélange gazeux fourni par l'action de l'acide sulfurique sur l'acide oxalique pur.

IX. — *Mélange à volumes égaux d'acide carbonique et d'oxyde de carbone.*

Pression	Y		
	Observé	Calcul moyen	Différence
5,114	2548	2594	+ 46
4,773	2402	2435	+ 33
4,180	2178	2159	— 19
3,785	2005	1977	— 28
0,657	522	496	— 26
0,293	304	305	+ 1
0,1219	198	198	0
0,0512	136	139	+ 3

La formule empirique au moyen de laquelle ont été calculés les nombres de la troisième colonne est :

$$(15) \qquad Y = 42 + 464\sqrt{p(p + 0,8)},$$

et se confond avec la moyenne des deux formules :

$$(6\ bis) \qquad y = 62 + 418\sqrt{p(p + 0,8)},$$
$$(7\ bis) \qquad y = 22 + 510\sqrt{p(p + 0,8)},$$

auxquelles se réduisent respectivement les formules (6) et (7) quand on supprime leur dernier terme, sans influence aux pressions élevées.

A ces pressions, *le mélange d'acide carbonique et d'oxyde de carbone à volumes égaux obéit donc à la loi des moyennes.*

30. *Air et hydrogène.* — Non plus que le mélange d'hydrogène et de protoxyde d'azote (p. 144) ou que les mélanges d'hydrogène et d'oxygène étudiés ci-après, le mélange considéré ne fait explosion par l'effluve. Dans tous ces cas, on peut faire passer à travers le mélange gazeux, en relation permanente avec une éprouvette à anhydride phosphorique, un nombre quelconque d'effluves, sans qu'il en résulte la plus petite variation de pression appréciable. S'il y avait production de vapeur d'eau, celle-ci serait rapidement absorbée et la chute de pression serait manifeste.

31. Au reste, l'élévation de température produite par le passage de l'effluve doit être bien petite. Pour m'en faire une idée, j'ai disposé, dans l'une de mes expériences [1], un petit tube manométrique en relation avec l'intérieur du ballon traversé par les effluves, et, au lieu de produire celles-ci à la manière habituelle, c'est-à-dire par ma batterie de petits accumulateurs, j'ai mis les deux pôles d'une bobine de Ruhmkorff en communication avec les plateaux du condensateur, et j'ai fait fonctionner la bobine pendant cinq minutes. Si l'on suppose cinquante interruptions par seconde, on arrive au nombre de 15000 effluves ; et il est à noter que les effluves ainsi produites sont beaucoup plus brillantes que celles que j'obtiens d'ordinaire à la limite du champ minimum. L'accroissement de pression a été insensible. *L'élévation de température résultante n'a pu dépasser un demi-degré.*

32. Voici maintenant les résultats relatifs au mélange d'air et d'hydrogène.

---

[1] Expérience faite sur de l'argon à la pression de 13 centimètres.

X. — *Mélange d'air et d'hydrogène :* 48,46 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y		
	Observé	Calcul moyen	Différence
7,049	2450	2471	+ 21
6,406	2269	2267	— 2
6,341	2251	2246	— 5
5,591	2013	2008	— 5

Ce mélange, qui n'a été étudié qu'aux pressions élevées, obéit comme on voit à la loi des moyennes.

33. *Air.* — La méthode des effluves n'est malheureusement pas applicable à l'oxygène pur, à cause de l'extrême faiblesse des lueurs.

Si l'on admet qu'aux pressions élevées l'air obéit à la loi des moyennes, on pourra calculer la cohésion diélectrique x de l'oxygène en fonction des cohésions diélectriques de l'air et de l'azote atmosphérique :

$$0{,}208x + 0{,}792 \,.\, 465 = 419\,; \tag{16}$$

mais, par suite de la petitesse relative du coefficient de x, la valeur

$$x = 243,$$

déduite de l'équation (16), peut être affectée d'une erreur relative sensible.

34. *Oxygène et hydrogène.* — Essayons d'appliquer cette valeur de la cohésion diélectrique de l'oxygène au calcul de la cohésion de mélanges d'oxygène et d'hydrogène, pour lesquels l'effluve, beaucoup plus lumineuse, permet, sans difficulté, les mesures à haute pression.

L'oxygène employé était préparé par l'action de la chaleur sur le permanganate de potasse.

XI. — *Mélange d'oxygène et d'hydrogène :* 65,44 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y		
	Observé	Fonction linéaire	Différence
9,492	2446	2488	+ 42
8,087	2120	2082	— 38
4,641	1358	1330	— 28
2,567	850	877	+ 27

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés par la formule linéaire :

$$Y = 317 + 218{,}2p, \tag{17}$$

dans laquelle on a donné au coefficient de p (cohésion diélectrique) la valeur assignée par la loi des moyennes

$$0{,}6544 \,.\, 205 + 0{,}3456 \,.\, 243{,}3 = 218{,}2.$$

XII. — *Mélange d'oxygène et d'hydrogène :* 50 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y		
	Observé	Fonction linéaire	Différence
8,783	2388	2376	— 12
7,515	2074	2092	+ 18
7,228	2047	2028	— 19
5,695	1729	1685	— 44
4,087	1268	1324	+ 56

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés par la formule :

$$Y = 409 + 224p; \tag{18}$$

la cohésion diélectrique 224 a encore été déduite de la loi des moyennes :

$$0{,}5 \,.\, 205 + 0{,}5 \,.\, 243{,}3 = 224{,}1.$$

35. L'accord que nous constatons ici, en employant une cohésion diélectrique de l'oxygène simplement calculée, constitue, on doit le dire, moins une preuve qu'une sérieuse présomption en faveur de l'exactitude de la loi des moyennes pour l'air lui-même et pour les mélanges d'oxygène et d'hydrogène.

36. En résumé, nous avons étudié dans ce chapitre des mélanges très divers : mélanges d'hydrogène avec l'oxyde de carbone, le protoxyde d'azote, l'acétylène, l'air, l'oxygène ; mélange d'acide carbonique et d'oxyde de carbone, et, dans tous ces cas, nous avons trouvé que la loi des moyennes, tout à fait inexacte aux très basses pressions, s'applique au contraire au calcul de la cohésion diélectrique, avec une erreur relative toujours inférieure à celle qui peut résulter de l'erreur des dosages volumétriques et de la limite de précision des mesures de champs critiques.

Ce cas de conservation de l'individualité électrique (Voir § 3) paraît être de beaucoup le plus général : on pourra le considérer comme le cas *normal*.

37. Quand la loi des moyennes est applicable, la mesure de la cohésion diélectrique d'un mélange de deux gaz *connus* de cohésion très différente peut être considérée comme une méthode d'analyse quantitative du même ordre d'exactitude que l'analyse volumétrique (par l'eudiomètre ou par les absorbants liquides).

38. *Dans les mêmes conditions*, la présence, dans un gaz, d'une impureté, existant seulement à l'état de traces, n'aura pas plus d'influence sur la mesure de la cohésion diélectrique qu'elle n'en a sur celle des densités. On n'a donc pas à se préoccuper outre mesure de la pureté rigoureuse des gaz, sauf dans le cas des pressions très basses. Alors, si l'impureté est condensable par la paroi, elle pourra, même à dose bien inférieure à $\frac{1}{100}$, modifier notablement le terme en $\frac{1}{p}$ ou en $\frac{1}{p^2}$ des formules empiriques.

CHAPITRE III.

COHÉSION DIÉLECTRIQUE NON CALCULABLE PAR LA LOI DES MOYENNES.

39. Nous abordons maintenant des cas où, même à haute pression, on ne peut faire usage de la loi des moyennes. Nous étudierons avec détail les mélanges d'acide carbonique et d'hydrogène qui peuvent servir de type à une première catégorie d'exceptions. La cohésion diélectrique est alors inférieure à celle que l'on calculerait à l'aide de la loi. En d'autres termes, la stabilité diélectrique moyenne se trouve abaissée par le fait du mélange des deux gaz.

40. *Acide carbonique et hydrogène.*

XIII. — *Mélange d'acide carbonique et d'hydrogène : 48,4 0/0 d'hydrogène.*

Pression	Y							
	Observé	Calcul moyen.	Différence	Formule empirique	Différence		Formule linéaire	Différence
7,850	2440	2693	+ 253	2443	+	3	2444	+ 4
7,225	2272	2496	+ 224	2270	—	2	2273	+ 1
6,638	2105	2310	+ 205	2106	+	1	2111	+ 6
6,179	1980	2165	+ 185	1979	—	1	1985	+ 5
5,401	1747	1918	+ 171	1762	+	15	1744	— 3
4,778	1615	1729	+ 108	1588	—	27	1600	— 15
4,232	1449	1547	+ 98	1435	—	14	1450	+ 1
2,990	1075	1148	+ 75	1075	—	2		
2,000	813	831	+ 16	797	—	16		
1,479	637	661	+ 24	641	+	4		
1,254	576	586	+ 10	572	—	4		
0,337	273	256	— 17	256	—	17		
0,157	161	172	+ 11	173	+	12		
0,0855	135	138	+ 3	141	+	6		
0,0268	104	112	+ 8	97	—	7		
0,0134	106	179	+ 63	107	+	1		
0,00541	123	416	+ 293	177	+	54		
0,00182	478			457	—	21		
0,00067	1126			1204	+	78		
0,00048	1555			1672	+	117		

Les nombres obtenus par la règle des moyennes sont absolument inacceptables. Ils sont partout beaucoup trop forts, sauf dans la région voisine du minimum, pour laquelle le champ critique est, on le sait, presque indépendant de la nature des gaz.

41. Les nombres de la cinquième colonne ont été calculés par la formule empirique :

$$Y = 275\sqrt{p(p+2,2)} + \frac{0,8}{p}, \tag{19}$$

rigoureusement applicable presque jusqu'aux plus basses pressions.

Si l'on veut se borner aux pressions supérieures à 2 centimètres, on peut aussi faire usage de la formule linéaire [1] :

$$Y = 286 + 275p, \tag{20}$$

qui a servi au calcul de la colonne (7) et qui réussit très bien dans ces limites.

---

[1] L'équation de l'asymptote à la courbe (19) serait :

$$Y = 302,5 + 275p.$$

D'après les formules (19) et (20), la cohésion diélectrique du mélange est 275 au lieu de 314,9 :

$$0{,}484 \,.\, 205 + 0{,}516 \,.\, 418 = 314{,}9,$$

qu'exigerait la loi des moyennes. Son abaissement au-dessous de la valeur normale est de 12,7 0/0.

42. On peut chercher, par la règle des moyennes, quelle proportion d'hydrogène il faudrait supposer dans le gaz pour obtenir, régulièrement, une cohésion diélectrique égale à 275 :

$$205x + 418\,(1 - x) = 275$$
$$x = 0{,}671.$$

Le gaz devrait contenir 67,1 0/0 d'hydrogène au lieu de 51,6 0/0.

43. Au lieu d'employer en bloc les expériences au calcul de la cohésion diélectrique et celle-ci à la détermination de la proportion fictive d'hydrogène, cherchons directement la proportion fictive d'hydrogène correspondant aux observations à haute pression prises séparément. On obtient ainsi le tableau suivant :

XIV. — *Même mélange.*

Pression	Y observé	H 0/0 fictif
7,850	2440	63,94
7,225	2772	63,36
6,638	2105	63,35
6,179	1980	62,92
5,401	1747	63,80
4,778	1615	59,33
4,252	1449	59,91
2,990	1075	60,97

Ce mode de calcul confirme le précédent. Il fournit des proportions fictives d'hydrogène croissant avec la pression et tendant vers la valeur limite déterminée ci-dessus.

44. Avant d'accepter comme définitive l'exception à la règle des moyennes que nous venons de rencontrer, il convient d'épuiser les objections.

La formule (6) de l'acide carbonique, appliquée dans nos calculs, n'a été vérifiée expérimentalement que jusqu'à $5^{cm},3$, et nous extrapolons jusqu'à 8 centimètres. Mais, outre que ces extrapolations se sont montrées sans inconvénient pour tous les mélanges étudiés dans le chapitre précédent, on ne remarque, dans les ta-

bleaux XIII et XIV, aucune discontinuité de part et d'autre de 5 centimètres, c'est-à-dire suivant qu'on a extrapolé ou non.

On pourrait encore remarquer que la formule de l'acide carbonique est moins correcte que celles de certains autres gaz, tels que l'oxyde de carbone, par exemple. Mais l'insuffisance de la formule ne se manifeste qu'au-dessous de 2 centimètres, et ne peut influer sur le calcul de la cohésion. D'ailleurs, si l'on substitue aux nombres calculés par la formule (6) des nombres interpolés d'après les résultats bruts des mesures sur l'acide carbonique, on exagère encore l'écart que présentent, par rapport à la loi des moyennes, les champs critiques aux pressions inférieures à 2 centimètres.

45. On pourrait enfin songer à incriminer, pour le cas qui nous occupe, la méthode même des effluves ; mais les effluves sont très brillantes dans l'acide carbonique et dans ses mélanges avec l'hydrogène ; de plus, on retrouve les mêmes écarts en faisant usage de la méthode des capacités électriques.

Dès le mois de décembre 1900, j'avais en effet étudié, par cette méthode, un mélange d'acide carbonique et d'hydrogène contenant 51,5 0/0 d'hydrogène, et trouvé que, pour expliquer les résultats par la règle des moyennes, il aurait fallu une proportion d'hydrogène de 75 0/0 au lieu de 51,5. Eu égard aux causes d'erreur que comportaient alors les mesures, ce résultat peut être considéré comme identique à celui des expériences, beaucoup plus précises, relatées ci-dessus.

46. J'ai étudié des mélanges d'acide carbonique et d'hydrogène en diverses proportions. Les résultats ont toujours été analogues. Je me bornerai à résumer des expériences parfaitement comparables à celle qui vient d'être discutée en détail. Elles se rapportent à deux mélanges, l'un plus riche, l'autre plus pauvre en acide carbonique.

XV. — *Mélange d'acide carbonique et d'hydrogène :* 73,3 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen.	Différence	Fonction linéaire	Différence
9,334	2460	2665	+ 205	2503	+ 43
8,641	2344	2485	+ 139	2337	— 7
7,570	2118	2200	+ 82	2079	— 39
6,299	1762	1862	+ 100	1775	+ 13
5,070	1488	1541	+ 53	1480	— 8
3,769	1174	1194	+ 20	1168	— 6

La loi des moyennes conduit encore à des résultats beaucoup trop forts.

Pour abréger, on n'a transcrit dans le tableau XV que les observations à haute pression, pour lesquelles la formule linéaire

$$(21) \qquad Y = 263 + 240p$$

fournit des résultats corrects. En réalité, les expériences ont été poussées jusqu'à la pression de $0^{cm},00109$, et le tableau complet des mesures est représenté par la formule :

$$(22) \qquad Y = 240\sqrt{p(p + 2,3)} + \frac{1,3}{p}.$$

Les formules (21) et (22) s'accordent pour indiquer une cohésion diélectrique égale à 240. La cohésion diélectrique C calculée par la loi des moyennes serait :

$$C = 0,733 \,.\, 205 + 0,267 \,.\, 418 = 261,9.$$

L'abaissement relatif $\frac{21,9}{281,9}$ est de 8,4 0/0.

La proportion fictive d'hydrogène correspondant à la loi des mélanges supposée exacte serait 82,63 0/0 au lieu de 73,3.

XVI. — *Mélange d'acide carbonique et d'hydrogène :* 25 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen.	Différence	Calcul linéaire	Différence
6,655	2394	2648	+ 254	2415	+ 21
5,459	2053	2237	+ 184	2028	— 25
4,599	1753	1894	+ 141	1750	— 3
2,573	1091	1150	+ 61	1096	+ 5
1,754	832	847	+ 15	832	+ 0

L'erreur du calcul de moyenne est toujours dans le même sens et à peu près de même importance.

Les nombres de l'avant-dernière colonne ont été calculés par la formule linéaire :

$$(23) \qquad Y = 265 + 323p.$$

Comme dans le tableau XV, on a supprimé tous les nombres relatifs aux pressions inférieures à 1 centimètre. Les expériences avaient

été poussées jusqu'à la pression de $0^{cm},0005$ et elles sont bien représentées par la formule :

$$(24) \qquad Y = 323 \sqrt{p\,(p + 1,7)} + \frac{0,65}{p}.$$

La loi des moyennes exigerait une cohésion diélectrique égale à

$$0,25 \,.\, 205 + 0,75 \,.\, 418 = 364,75$$

au lieu de 323 correspondant aux formules (23) et (24). L'abaissement relatif est de 11,45 0/0. La proportion fictive d'hydrogène qui justifierait la cohésion 323 serait de 44,6 0/0 au lieu de 25 0/0.

47. En résumé, tous les mélanges d'acide carbonique et d'hydrogène ont une cohésion diélectrique plus voisine de celle de l'hydrogène que ne l'indiquerait la loi des moyennes. On peut former le tableau suivant :

XVII.

Hydrogène		Acide carbonique		Cohésion diélectrique			
réel	fictif	réel	fictif	calcul moyen	réelle	différence absolue	différence relative 0/0
25	44,6	75	55,4	364,75	323	41,75	11,45
48,4	67,14	51,6	32,86	314,9	275	39,9	12,7
73,3	82,63	26,6	17,37	261,9	240	21,9	8,4

A l'inspection de ce tableau, on voit que si, à de l'acide carbonique pur, on ajoute progressivement de l'hydrogène, l'efficacité de cette addition, pour abaisser la cohésion diélectrique du mélange, est d'abord maximum et décroît ensuite rapidement. Si, au contraire, à de l'hydrogène pur, on ajoute progressivement de l'acide carbonique, l'efficacité de celui-ci pour élever la cohésion diélectrique sera d'abord minimum et croîtra ensuite, lentement d'abord, puis de plus en plus vite.

L'abaissement de la cohésion diélectrique au-dessous de la moyenne calculée est dissymétrique ; pour des compositions centésimales semblables, il est toujours plus fort, quand l'acide carbonique domine.

48. *Azote et hydrogène.* — Les mélanges d'azote atmosphérique et d'hydrogène donnent des résultats de tout point comparables aux précédents.

XVIII. — *Mélange d'azote atmosphérique et d'hydrogène :* 50,34 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen	Différence	Formule linéaire	Différence
6,573	2272	2415	+ 143	2272	0
4,976	1797	1878	+ 81	1798	+ 1
3,781	1448	1504	+ 56	1443	— 5

Formule linéaire :

(25) $$Y = 320 + 297p.$$

La loi des moyennes n'est pas applicable. La cohésion diélectrique déduite de la formule linéaire est 297 au lieu de

$$0,5034 \,.\, 205 + 0,4966 \,.\, 465 = 334,1.$$

Abaissement relatif, 11,1 0/0.

La proportion fictive x d'hydrogène correspondant à la cohésion diélectrique observée, en supposant exacte la loi des moyennes, serait :

$$205x + 465\,(1 - x) = 297,$$
$$x = 0,6462,$$

au lieu de 0,5034.

XIX. — *Mélange d'hydrogène et d'azote atmosphérique :* 82,9 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen	Différence	Formule linéaire	Différence
9,218	2453	2518	+ 65	2453	0
7,856	2126	2177	+ 51	2125	— 1
5,456	1549	1574	+ 25	1549	0
4,147	1234	1242	+ 8	1234	0

Formule linéaire :

(26) $$Y = 237 + 240,4x.$$

La cohésion diélectrique du mélange est 240,4 au lieu de

$$0,829 \,.\, 205 + 0,171 \,.\, 465 = 249,4.$$

Abaissement relatif, 3,7 0/0.

La proportion fictive d'hydrogène correspondant à la cohésion diélectrique 249,4 serait :

$$205x + 465\,(1 - x) = 240,4,$$
$$x = 0,8636,$$

au lieu de 0,829.

Comme pour les mélanges d'acide carbonique et d'hydrogène, la cohésion diélectrique est toujours inférieure à celle que l'on calculerait par la loi des moyennes. Son abaissement par rapport à la moyenne calculée semble manifester la même dissymétrie.

49. *Voilà donc au moins deux sortes de mélanges sans action chimique, dont la cohésion diélectrique n'est certainement pas calculable par la loi des moyennes.*

A quoi faut-il attribuer cet écart? Pourquoi le mélange d'acide carbonique et d'hydrogène se comporte-t-il autrement que le mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène? Pourquoi l'oxygène et l'hydrogène, capables de produire de l'eau avec un énorme dégagement de chaleur, semblent-ils obéir à la loi des moyennes, tandis que l'azote et l'hydrogène, qui ne se combinent pas directement, s'en écartent d'une manière certaine?

Sans chercher à ces difficiles questions une réponse sans doute prématurée, nous allons passer au cas de mélanges pour lesquels l'erreur manifeste de la loi exprimée par l'équation (2) est de sens opposé; c'est-à-dire que la cohésion diélectrique du mélange est, non plus inférieure, mais supérieure à celle que l'on calculerait *a priori*.

Ce cas particulièrement remarquable est offert par des mélanges dont l'un des éléments est l'argon.

CHAPITRE IV.

COHÉSION DIÉLECTRIQUE DES MÉLANGES D'ARGON.

50. La détermination de la cohésion diélectrique de l'argon pur s'est trouvée entourée de beaucoup de difficultés. Les conclusions auxquelles j'ai été conduit ressortiront mieux en rapportant les principales expériences dans l'ordre même où j'ai été conduit à les exécuter.

51. Grâce à l'obligeance de MM. Moissan et Rigaut[1], j'ai pu disposer de quantités d'argon assez importantes. Ce gaz avait été préparé par la méthode indiquée par MM. Moissan et Rigaut [2], et

---

[1] Je tiens à adresser tous mes remerciements à MM. Moissan et Rigaut pour leur inépuisable complaisance.

[2] Voir *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXXVII, p. 773; 1903.

transvasé directement de l'appareil de production dans un ballon où j'avais fait le vide de Crookes. Voici les résultats :

XX. — *Argon non soumis au refroidissement préalable.*

Pression	y		
	Observé	Calculé	Différence
30,971	2490	2492	+ 2
27,462	2242	2253	+ 9
24,247	2041	2033	— 8
22,275	1910	1898	— 12
20,315	1753	1763	+ 10
18,777	1674	1656	— 18
14,600	1344	1364	+ 20
12,587	1225	1223	— 2
9,938	1026	1032	+ 6
8,414	918	920	+ 2
5,286	692	679	— 13
4,541	623	618	— 5
3,297	505	511	+ 6
1,647 (1)	315	339	+ 24
0,0903 (1)	150	117	— 33
0,0558	117	99	— 18
0,01016	162	162	0
0,00470	268	291	+ 23
0,00267	494	481	— 13

52. On est tout d'abord frappé de la petitesse des champs critiques. Tandis qu'avec l'hydrogène la force électromotrice de ma batterie ne m'avait pas permis de dépasser la pression de 11 centimètres environ, ici, avec le même appareil et dans des conditions identiques, nous réalisons les mesures jusqu'à 31 centimètres. L'argon oppose donc au passage de l'effluve un obstacle beaucoup moins grand que les gaz étudiés jusqu'ici.

Dès 1896, MM. Ramsay et Collie (2) avaient en effet annoncé que, pour une différence de potentiel donnée, l'étincelle est plus longue dans l'argon que dans l'hydrogène, et davantage encore dans

(1) Pour des pressions comprises entre ces deux nombres, l'effluve est si pâle que les mesures ne comportent aucune précision.

(2) Ramsay et Collie, *Proceed. of the Royal Society*, t. LIX, p. 257. Les longueurs d'étincelles données par les auteurs sont les suivantes :

Air	33 millimètres
Hydrogène.....	39
Argon	$45^{mm},5$
Hélium.....	300

l'hélium ; mais les nombres qu'ils fournissent pour l'hydrogène et l'argon ne peuvent faire prévoir l'écart énorme manifesté ici.

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés par la formule :

$$y = 20 + 67\sqrt{p(p+13)} + \frac{1,2}{p}. \tag{27}$$

Elle indique une cohésion diélectrique égale à 67, c'est-à-dire environ trois fois plus faible que celle de l'hydrogène.

53. Désireux de savoir si l'indépendance de la cohésion diélectrique par rapport à la température était aussi complète avec l'argon qu'avec les gaz communs, je répétai des expériences soit de chauffe, soit de refroidissement par l'air liquide dans des conditions identiques à celles de mes expériences antérieures [1]. Voici les résultats :

XXI. — *Ballon de cristal n° 2. Pression à 17°, 22cm,56.*

Température	Champ critique
+ 16	2246
+ 132,5	2234
+ 171,5	2213
Moyenne...	2231

Au-dessus de 0, le champ critique à volume constant est bien indépendant de la température.

XXII. — *Ballon de verre. Pression à 17°, 22cm,47.*

Température	Champ critique		r
+ 77,5	2090	moyenne 2131	»
+ 5,8	2129		»
— 8,7	2175		»
— 20,8	2175		»
— 32,5	1703		0,799
— 42	1565		0,734
— 79	1305		0,612

r est le rapport des champs critiques à basse température à la moyenne des champs critiques dans l'intervalle où ils paraissent invariables.

XXIII. — *Ballon de verre. Pression à 17°, 26cm,13.*

Température	Champ critique		r
+ 14,3	2456	moyenne 2490	
— 14,3	2523		
— 30	2043		0,820
— 59	1495	moyenne 1486	0,596
— 100 [1-2]	1478		

[1] Voir *Bulletin des Séances*, p. 232 ; 1903 ; et *J. de Phys.*, 4e série, t. III, p. 12 ; 1904.
[2] Températures seulement repérées.

XXIV. — *Ballon de verre. Pression à 17°, 13cm,99.*

Température	Champ critique		r
+ 14,9	1471	moyenne 1494	
+ 11,3	1486		
+ 1,8	1479		
— 23,8	1539		
— 41,5	1232		0,825
— 48	1193		0,804
— 48,5	1209		
— 65,5	984	moyenne 1000	0,669
— 100 (1)	1015		

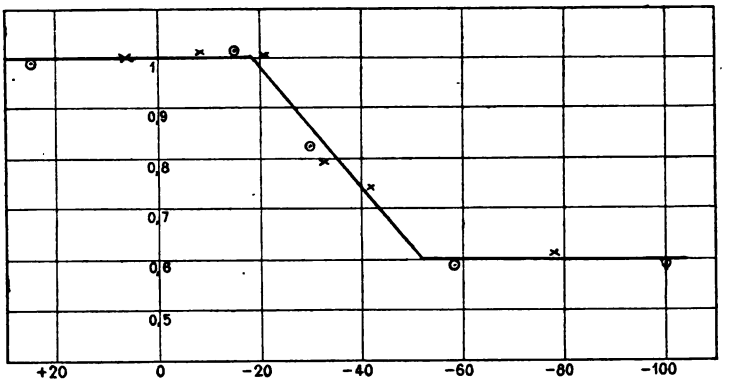


Fig. 1.

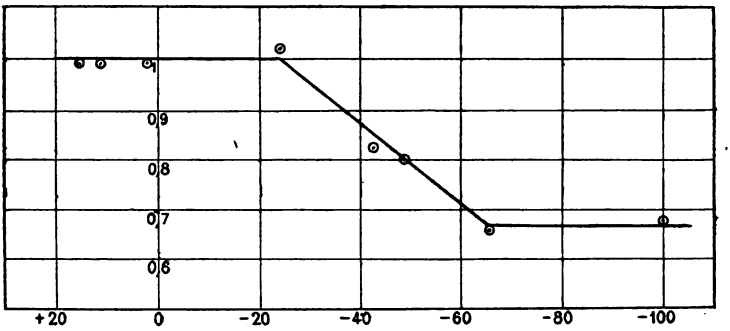


Fig. 2.

54. Si l'on construit une courbe en prenant pour abscisses les

(1) Températures seulement repérées.

températures, pour ordonnées les rapports r, on obtient deux portions de droite horizontales raccordées par une droite inclinée. La *fig.* 1 réunit les résultats des tableaux XXII et XXIII, relatifs à deux pressions assez voisines. La *fig.* 2 se rapporte au tableau XXIV.

On voit qu'à partir d'une température voisine de — 20°, le champ critique à volume constant décroît à peu près linéairement, puis se fixe à une valeur beaucoup plus faible, atteinte à partir de — 50° ou de — 60°.

55. Dans ces expériences je fus vivement frappé par une modification remarquable des lueurs d'effluve, modification qui commençait à se produire précisément à la température pour laquelle le champ critique commençait à baisser. D'une couleur mal définie, d'apparence blafarde, les lueurs passaient progressivement au blanc bleuté, en devenant de plus en plus vives.

56. En quoi consiste la modification subie par le gaz dans ces conditions?

Deux interprétations se présentaient à l'esprit : la première consiste à supposer qu'il existe deux variétés d'argon, l'une stable au-dessus de — 20°, l'autre au-dessous de — 60° ; mais on peut aussi imaginer, plus simplement, qu'à partir de — 20° l'argon employé laisse déposer un produit de condensation dont la tension de vapeur devient très faible au-dessous de — 60°.

Dans la première hypothèse, il y a lieu de supposer que l'argon, en se transformant dans sa variété stable à basse température, augmente de densité dans un rapport simple. Dans la seconde hypothèse, la densité doit diminuer, mais dans un rapport quelconque.

57. Pour savoir ce qu'il en est, je disposai un tube manométrique de faible capacité, en relation avec le ballon échauffé ou refroidi. Considérons l'intervalle de température dans lequel le gaz n'est pas modifié. Si le volume du tube manométrique était négligeable par rapport à celui du ballon, la pression p devrait demeurer proportionnelle à la température absolue T déduite de l'observation d'un thermomètre à mercure ou à toluène en contact avec le ballon. En réalité il y a, en dehors de l'étuve, dans le col du ballon, un petit espace dans lequel la température varie d'une manière continue, puis le tube manométrique lui-même qui est à la température extérieure. Le quotient $\frac{T}{p}$ de la température absolue par la pression se trouve

exactement représenté par une formule [1] telle que :

$$\frac{T}{p} = a + bT,$$

le rapport $\frac{b}{a}$ des deux constantes étant d'ailleurs très petit.

58. J'ai trouvé que la formule empirique [2]

$$\frac{T}{p} = 10,84 + 0,00778T,$$

dont les constantes avaient été déterminées par des expériences de $+13°$ à $+120°$, représentait, avec la même exactitude, les expériences de $-7°$ à $-68°$, sans qu'aucune perturbation appréciable manifestât une variation de densité dans l'intervalle critique où les propriétés diélectriques et émissives de l'argon subissent une altération si remarquable.

Il faut donc admettre que, s'il y a une variation de densité, elle est assez petite pour être masquée par les erreurs d'expérience ; elle ne peut guère être supérieure à $\frac{1}{100}$.

59. Ainsi, d'une part, l'existence de deux variétés de l'argon est rendue très improbable ; de l'autre, l'impureté, si elle existe, ne peut constituer qu'une très faible partie de la masse gazeuse en expérience.

60. J'essayai de condenser l'impureté, en dehors de l'appareil de mesure, dans un petit serpentin refroidi par de l'air liquide. Je ne pus voir aucune goutte de liquide dans le serpentin, mais le gaz recueilli dans le ballon jouissait, dès la température ordinaire, de la faible cohésion diélectrique qu'il n'avait auparavant qu'aux très basses températures.

D'ailleurs les effluves avaient pris l'éclat et la teinte bleutée remarqués antérieurement au-dessous de $-60°$.

61. Il restait à caractériser chimiquement l'impureté capable de produire de telles modifications. A ma demande, M. Moissan voulut bien refroidir dans l'air liquide tout ce qu'il possédait de cet argon. Il recueillit dans le tube à condensation une seule goutte d'un liquide alcalin, trop peu importante pour permettre une analyse quantitative.

---

(1) On arrive aisément à cette expression par voie théorique.
(2) Pression évaluée en centimètres de mercure.

62. Examiné dans un tube de Plücker, le gaz non purifié présentait, outre les raies connues de l'argon, les raies caractéristiques de l'hydrogène; et on distinguait, comme un voile léger tendu sur le spectre de l'argon, les principales bandes de l'azote. Ainsi l'impureté consistait sans doute en une simple trace d'ammoniaque.

63. Pour manifester la grandeur de la variation des champs critiques due à cette impureté, je donne dans les deux tableaux suivants la série des nouvelles observations. Le tableau XXV se rapporte au gaz purifié par son refroidissement dans l'air liquide.

XXV. — *Argon purifié par refroidissement dans l'air liquide.*

Pression	y				
	Observé	Calculé formule (27)	Différence	Calculé formule (28)	Différence
29,560	1694	2398	+ 704	1704	+ 10
19,271	1280	1691	+ 411	1261	— 19
14,832	1078	1382	+ 304	1060	— 18
10,070	828	1041	+ 213	830	+ 2
8,106	760	896	+ 136	728	— 32
6,583	591	761	+ 170	636	+ 45
4,944	527	651	+ 124	548	+ 21
2,267	312	414	+ 102	358	+ 46
1,139	248	289	+ 48	250	+ 2

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés par la formule (27) de l'argon non purifié; ceux de la cinquième colonne par la formule :

$$y = 39\sqrt{p(p + 35)}. \tag{28}$$

La cohésion diélectrique correspondante 39 n'est que les 0,58 de la cohésion de l'argon non purifié.

64. Le tableau XXVI se rapporte au même argon, conservé pendant quinze jours en dehors de l'appareil au contact d'acide sulfurique pur :

XXVI. — *Argon purifié par refroidissement dans l'air liquide et par un contact prolongé avec l'acide sulfurique.*

Pression	y				
	Observé	Calcul linéaire	Différence	Formule (28 *bis*)	Différence
32,332	1638	1632	— 6		
22,269	1335	1330	— 5		
16,901	1156	1169	+ 13	1155	— 1
14,220	1050			1035	— 15
10,900	902			873	— 29
5,177	558			563	+ 5
2,149	321			350	+ 29
1,011	217			235	+ 18
0,590	170			168	— 1
0,064	132			86	— 46
0,0174	143			133	— 10
0,0104	165			196	+ 31
0,0065	293			295	+ 2
0,00323	560			569	+ 9

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés par la formule linéaire [1] :

$$y = 662 + 30p, \tag{29}$$

ceux de la cinquième colonne par la formule

$$y = 39\sqrt{p\,(p + 35)} + \frac{1,8}{p}. \tag{28 bis}$$

La courbe (28 *bis*) et la droite (29) se coupent. Le point d'intersection correspond à peu près à la pression de 16 centimètres.

65. La discontinuité manifestée par ces formules correspondrait-elle à une impureté introduite accidentellement dans l'appareil au cours des mesures ? Je n'ai aucun motif de le supposer.

Un tube de Plücker, en communication avec l'appareil de mesure, peut être excité par une bobine de Ruhmkorff, et permet de suivre les variations du spectre de l'argon avec la pression. On sait que, vers la pression de 4 à 5 millimètres, ce spectre présente une série de lignes rouges moins réfrangibles que celle de l'hydrogène et considérées

[1] Malheureusement la quantité de cet argon dont je disposais ne m'a pas permis d'atteindre des pressions supérieures à $32^{cm},3$. Si, comme il est vraisemblable, la formule linéaire continue à s'appliquer à des pressions plus hautes, ma batterie m'aurait permis de poursuivre la mesure des champs critiques jusqu'à la pression de 60 centimètres environ.

comme tout à fait caractéristiques. Or ces raies étaient tout à fait invisibles dans le spectre, cependant très brillant, correspondant aux pressions de 32 et de 22 centimètres. Tout l'espace en deçà de la raie rouge de l'hydrogène demeurait complètement obscur. A la pression de 16^{cm},9, on commence à distinguer à peine la plus brillante des raies rouges de l'argon ; son éclat augmente peu à peu aux pressions plus basses, puis apparaissent successivement toutes les autres lignes brillantes du même groupe, dont l'importance relative, par rapport aux lignes très brillantes dans le vert, le bleu et le violet, s'accuse de plus en plus.

Il est tout au moins curieux que le changement d'allure des champs critiques coïncide précisément avec celui des raies spectrales.

J'ignore quels résultats fournirait l'argon à un état de pureté absolument rigoureuse. Il est probable que sa cohésion diélectrique est encore inférieure à 30. Pour ce corps, la sensibilité des mesures électriques, par rapport à la moindre trace d'impureté, paraît équivaloir à celle de la réaction spectrale.

66. Il restait à employer les échantillons d'argon plus ou moins impurs que je possédais encore à l'étude de l'effet produit par l'addition d'une quantité connue de gaz étranger.

Je signalerai d'abord des expériences pour lesquelles j'avais employé comme matière première l'argon non purifié [formule (27)].

XXVII. — *Mélange d'argon impur et d'hydrogène :* 56,77 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen.	Différence	Formule empirique	Différence
11,762	2501	1910	— 591	2538	+ 37
9,438	2080	1583	— 497	2076	— 4
8,653	1915	1472	— 443	1926	+ 11
6,125	1424	1112	— 312	1421	— 3
5,130	1242	968	— 274	1222	— 20
2,409	663	559	— 104	670	+ 7
0,873	322	296	— 26	330	+ 8

L'écart des nombres observés et déterminés par le calcul de moyenne est tout à fait énorme.

Les nombres de la cinquième colonne ont été calculés en supposant que le mélange ne contient que 6,5 0/0 d'argon au lieu de 49,23. La cohésion diélectrique correspondante est 196 au lieu de 137 donné par le calcul de moyenne. Le mélange de volumes égaux d'hydrogène et

d'argon se comporte donc, au point de vue de sa cohésion diélectrique, presque comme de l'hydrogène pur (cohésion 205).

XXVIII. — *Mélange d'argon impur et d'hydrogène :* 21,29 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen	Différence	Formule empirique	Différence
13,392	2484	1638	— 846	2464	— 20
11,43	2124	1443	— 681	2144	+ 20
10,017	1913	1247	— 666	1889	+ 23
7,840	1542	1086	— 456	1550	+ 3
6,668	1342	956	— 386	1349	+ 8
2,849	685	536	— 149	690	+ 5

Les nombres de la cinquième colonne ont été calculés en supposant que le mélange contient 71,8 d'hydrogène au lieu de 21,29. Cohésion diélectrique, 166,1 au lieu de 96,4.

XXIX. — *Mélange d'argon impur et d'hydrogène :* 9,83 0/0 *d'hydrogène.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen	Différence	Formule empirique	Différence
15,511	2555	1623	— 932	2554	— 1
12,986	2160	1412	— 748	2198	+ 38
10,287	1798	1179	— 619	1788	— 10
9,741	1716	1135	— 581	1713	— 3
8,606	1553	1017	— 536	1532	— 21
7,579	1394	928	— 466	1377	— 17
3,520	746	570	— 176	764	+ 18

Les nombres de la cinquième colonne ont été calculés d'après la loi des moyennes, en supposant que le gaz renferme 58 0/0 d'hydrogène au lieu de 9,83 0/0. Cohésion diélectrique, 146,6 au lieu de 80,6.

67. Ce dernier mélange d'hydrogène et d'argon fut soumis à des expériences de refroidissement dans l'air liquide. Voici le résultat d'une des séries de mesures :

XXX. — *Mélange d'argon impur et d'hydrogène :* 9,83 0/0 *d'hydrogène.*
Pression à 17°, 13,580.

Température	Y
+ 15	2278
— 26	2226
— 48	2192
— 100 (1)	2132

(1) Température seulement repérée.

La condensation de l'impureté produit un abaissement du champ critique encore sensible, d'environ 6,4 0/0.

Dans les mêmes conditions, l'argon non mêlé d'hydrogène présentait un abaissement d'environ 40 0/0. L'effet de l'impureté condensable est donc fortement réduit par la présence de l'hydrogène. De même, l'effet de 1 0/0 d'un gaz étranger quelconque, tel que l'acide carbonique ou l'hydrogène, diminue rapidement à mesure que la quantité de gaz étranger déjà présent est plus considérable.

68. J'ai aussi étudié divers mélanges du même argon impur et d'azote atmosphérique. Il suffira de citer en détail les résultats relatifs aux deux mélanges extrêmes.

XXXI. — *Mélange d'argon impur et d'azote atmosphérique :* 4,92 0/0 *d'azote.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen	Différence	Formule empirique	Différence
15,734	2163	1742	— 421	2162	— 1
15,361	2107	1692	— 415	2107	0
13,383	1902	1532	— 370	1891	— 11
9,375	1415	1192	— 223	1440	+ 25
6,352	1038	882	— 156	1050	+ 12

La cinquième colonne est calculée, en supposant la loi des moyennes exacte, avec une proportion fictive d'azote de 11,87 0/0 au lieu de 4,92 (rapport 2,41).

XXXII. — *Mélange d'argon impur et d'azote atmosphérique :* 79,78 0/0 *d'azote.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen	Différence	Formule empirique	Différence
5,794	2542	2457	— 85	2548	+ 6
5,032	2225	2177	— 48	2257	+ 32
3,993	1814	1749	— 65	1811	— 3
3,038	1451	1386	— 65	1432	— 19

La cinquième colonne a été calculée pour une proportion d'azote fictive de 84 0/0, relativement peu différente de la proportion réelle, 79,78 [ou 16 0/0 d'argon au lieu de 20,28 (rapport 1,27)]. Cohésion diélectrique, 401,3 au lieu de 383,2.

69. Ainsi un peu d'azote altère beaucoup les champs critiques relatifs à l'argon ; un cinquième d'argon altère peu les champs critiques de l'azote. C'est le même fait que nous avons reconnu pour l'hydrogène mêlé à l'argon. Or on sait depuis longtemps que très peu d'hydrogène ou d'azote dans l'argon fait apparaître les lignes de

ces gaz dans le spectre, tandis qu'il faut beaucoup plus d'argon dans l'hydrogène ou dans l'azote pour qu'on puisse reconnaître ce gaz spectroscopiquement [1].

70. Un argon plus pur, ayant donné la formule :

$$y = 44\sqrt{p\,(p + 35)}, \tag{30}$$

applicable aux pressions supérieures à quelques centimètres, a servi à former plusieurs mélanges avec de l'acide carbonique.

XXXIII. — *Mélange d'argon et d'acide carbonique.*
Proportion d'acide carbonique, 0,63 0/0.

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen.	Différence	Fonction linéaire	Différence
22,137	2184	1614	— 570	2199	+ 15
15,774	1723	1277	— 446	1693	— 30
10,131	1229	963	— 266	1244	+ 15
5,998	834	703	— 131		
3,617	558	508	— 50		

Bien que la proportion d'acide carbonique ajoutée à l'argon dépasse à peine 1/2 0/0, l'écart de la loi des moyennes est énorme, comme le montre la colonne 4.

Les nombres de la cinquième colonne ont été calculés par la formule linéaire :

$$Y = 439 + 79{,}5p. \tag{31}$$

La cohésion diélectrique est passée de 44 à 79,5, c'est-à-dire s'est accrue dans un rapport égal à 1,807. La proportion fictive d'acide carbonique que supposerait un tel accroissement, si la loi des moyennes était exacte, serait donnée par la formule :

$$418x + 44\,(1 - x) = 79{,}5,$$
$$x = 9{,}49\ 0/0,$$

au lieu de 0,63 0/0.

71. Aux pressions élevées, un tube de Plücker, en communication avec l'appareil, montre d'une manière non douteuse les principales bandes de l'acide carbonique, comme un voile léger à travers lequel

(1) Ramsay et Collie, *loc. cit.*

apparaît le spectre de l'argon. D'ailleurs toute la région bleue et violette est assez profondément modifiée. En particulier, deux beaux groupes de raies bleues assez rapprochées, dont les centres sont respectivement vers 470μ et 455μ, sont très affaiblis ; le dernier est presque indistinct. La lumière émise, d'un joli blanc bleuté pour l'argon pur, a sensiblement viré vers la teinte blafarde de l'acide carbonique. Ainsi, à une variation considérable de la cohésion diélectrique, correspond une altération extrêmement sensible du spectre dans un sens tel que, de part et d'autre, l'influence de l'acide carbonique semble hors de proportion avec la quantité réelle de ce gaz mêlée à l'argon.

72. Au mélange précédent on a rajouté de l'acide carbonique en quantité plus notable et obtenu les résultats suivants :

XXXIV. — *Mélange d'argon et d'acide carbonique :* 17,1 0/0 *d'acide carbonique.*

Pression	Y				
	Observé	Calcul moyen	Différence	Fonction linéaire	Différence
14,646	2523	2298	— 225	2523	0
10,781	1963	1617	— 346	1955	— 8
7,406	1451	1214	— 237	1458	+ 7
4,981	962	909	— 55		

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés par la formule linéaire :

$$Y = 370 + 147p.$$

La proportion fictive d'acide carbonique qui justifierait une cohésion diélectrique égale à 147 serait 27,56 0/0 au lieu de 17,1 0/0.

En ce qui concerne le spectre, j'observe qu'aux hautes pressions presque toutes les lignes de l'argon ont disparu. A des pressions beaucoup plus basses, le spectre de l'argon est peu apparent par rapport aux bandes de l'acide carbonique, principalement dans la région des deux groupes bleus. On ne commence à distinguer vaguement ceux-ci qu'à partir de la pression de 2 millimètres.

73. Cette étude nous amène donc à *établir une relation étroite entre la cohésion diélectrique, d'une part, et la nature du spectre, de l'autre.* Quand l'un des gaz mêlés manifeste une influence visiblement prépondérante au point de vue spectral, ce même gaz domine aussi pour imposer sa constante diélectrique. La valeur de la cohésion, calculée d'après la loi des moyennes, se trouve supérieure ou inférieure à la

valeur réelle, suivant que le gaz prépondérant, au point de vue spectral, aura la cohésion la plus faible ou la plus forte.

Il y aurait évidemment intérêt à poursuivre une étude comparative des spectres d'effluve et des cohésions, en vue de préciser davantage la relation qui paraît exister entre ces deux éléments physiques.

74. On sait combien l'argon paraît jusqu'ici réfractaire aux actions chimiques. Si les variations considérables de son spectre et de sa cohésion diélectrique, en présence de traces de gaz étrangers, ne correspondent pas à la production de composés définis de l'argon, quelle en est donc la cause? Ne faut-il pas aller la chercher dans la structure même de l'atome, les atomes des gaz mêlés se comportant sans doute les uns par rapport aux autres à la façon de résonateurs complexes, suivant des lois qui nous sont encore inconnues?

75. Comment la théorie des ions, jusqu'ici si féconde en ressources, interprétera-t-elle les faits nouveaux contenus dans ce mémoire?

En ce qui concerne la faiblesse de la cohésion diélectrique de l'argon et des gaz monoatomiques, on imaginera, sans doute, que le principal obstacle à l'ionisation d'une molécule polyatomique réside non dans les atomes eux-mêmes, mais dans le lien moléculaire qui les unit.

Il sera beaucoup plus délicat de faire la théorie complète des mélanges. Si l'on songe à l'étroitesse du lien qui semble unir la cohésion diélectrique et l'émission lumineuse par effluve, on sera porté à penser que la théorie des ions ne peut se perfectionner désormais qu'en cherchant à englober et à éclairer la théorie de l'émission des gaz [1].

Recherches expérimentales sur l'existence de la polarisation rotatoire dans les cristaux biaxes;

Par M. H. Dufet [2].

Quelques années après que Airy eut expliqué, à l'aide d'hypothèses que l'observation a justifiées *a posteriori* d'une façon plus ou moins complète, les phénomènes présentés par le quartz dans le voi-

---

(1) Dans cet ordre d'idées, je signalerai un mémoire de M. Jeans, paru récemment dans le *Philosophical Magazine* (*The mecanism of radiation*, 6e série, t. II, p. 421-455; 1901).

(2) Séance du 20 mai 1904.

sinage de l'axe optique, dès 1837 Mac Cullagh [1], dans un essai de théorie de la polarisation rotatoire, arrivait à cette conclusion que les biaxes pouvaient aussi posséder la polarisation rotatoire, qu'en général la polarisation y est elliptique, qu'elle devient circulaire dans la direction des axes optiques, et que par suite, dans cette direction, certains cristaux biaxes devaient présenter des phénomènes analogues à ceux qu'on rencontre dans le quartz. Aucun essai de vérification ne fut fait. Verdet [2], rapportant les résultats de Mac Cullagh, insiste sur les difficultés d'une vérification expérimentale : « Dans les cristaux à un axe, le rayon ordinaire a une vitesse cons- « tante, et le rayon extraordinaire acquiert sa vitesse maximum ou « minimum lorsqu'il se meut dans la direction de l'axe. Il en résulte « que les phénomènes varient très lentement dans le voisinage de « l'axe. Dans les cristaux à deux axes, au contraire, l'axe optique est « une direction suivant laquelle les vitesses des deux rayons sont « fortuitement égales; aucune d'elles n'y est maximum ou minimum, « et elles varient rapidement dès qu'on s'en écarte. On conçoit donc « que les propriétés rotatoires suivant les axes optiques seraient très « difficiles à mettre en évidence. »

Le résultat de Mac Cullagh fut retrouvé par tous ceux qui s'occupèrent théoriquement de la question [3]. Une vérification expérimentale est due à M. Beaulard [4], qui étudia le pouvoir rotatoire dans le quartz rendu biaxe par compression; il montre, en employant la lumière parallèle, que dans un quartz comprimé, dans lequel l'angle des axes était de 8° environ, un rayon circulaire se propage sans altération dans les directions des axes optiques acquis par compression et avec une vitesse différente suivant le sens de gyration. La remarque de Verdet subsiste pourtant, car le quartz comprimé de M. Beaulard nous donne à coup sûr un biaxe, mais d'une biréfrin-

---

(1) Mac Cullagh, *Irish Acad. Transactions*, XVII, part 3, p. 461; — *Proceed. of Ir. Acad.*, p. 383; 1837-1840.

(2) Verdet, *Optique physique*, t. II, p. 326; 1870.

(3) Clebsch, *Journal de Crelle*, t. LVII, p. 355; 1860; — Boussinesq, *Journal de Liouville*, 2e série, t. XIII, p. 336; 1868; — Von Lang, *Pogg. Ann. Ergänz.*, *B.* VIII, p. 618; 1878; — W. Gibbs, *Amer. J. of Sc.*, 3e série, t. XXXIII, p. 460; 1882; — Voigt, *Wied. Ann.*, t. XIX, p. 897; 1883; — Goldhammer, *J. de Phys.*, 3e série, t. I, p. 205; 1890; — O. Weder, *N. Jahrb. f. miner. Beil.*, *B.* XI, p. 1-45; 1897; — Chipart, *Théorie gyrostatique de la lumière*, p. 40, Paris, 1904.

(4) Beaulard, *Sur la coexistence du pouvoir rotatoire et de la double réfraction dans le quartz*, thèse de la Faculté de Paris, Marseille, 1893. — Résumé dans *J. de Phys.*, 3e série, t. II, p. 472; 1893.

gence exceptionnellement faible dans le voisinage des axes optiques.

En 1901 paraît un mémoire de M. Pocklington [1], qui présente cet intérêt capital que l'auteur a le premier donné une méthode générale d'observation. Partant, comme l'avait fait W. Gibbs, de la théorie électromagnétique de la lumière, il arrive à des conséquences qui, pour les uniaxes, concordent absolument avec les résultats d'Airy, ou mieux avec ceux de M. Gouy. Ce savant, on le sait, a donné une théorie de la polarisation rotatoire [2] où il retrouve, avec des hypothèses beaucoup mieux établies que celles d'Airy, les résultats de ce dernier : suivant chaque direction, dans un milieu cristallisé, peuvent se propager deux vibrations elliptiques, de rotation inverse, géométriquement semblables et ayant leurs grands axes rectangulaires ; la vibration ayant une gyration de même sens que le pouvoir rotatoire du milieu prend l'avance ; l'excentricité des ellipses est fonction du retard qui serait donné par la double réfraction à des vibrations rectilignes dans le cas où le pouvoir rotatoire n'existerait pas.

M. Pocklington, retrouvant ce résultat pour les biaxes, fait remarquer que, sur une plaque taillée perpendiculairement à un axe optique et examinée en lumière convergente entre deux nicols croisés, la branche d'hyperbole qui traverse les anneaux circulaires obtenus dans ce cas ne sera pas noire, mais le deviendra, pendant que les anneaux se disloqueront, si on tourne dans un sens convenable le nicol analyseur. Si la lumière est analysée circulairement, on obtient une spirale de même sens que le pouvoir rotatoire suivant l'axe. M. Pocklington a vérifié ces faits sur le sucre et le sel de Seignette potassique. Le sucre cristallise, comme on sait, dans le système clinorhombique, et présente l'hémiédrie non superposable ; les axes optiques sont dans le plan normal à l'axe binaire (plan de symétrie *déficient*) et font entre eux un angle de 47° 50′ ; l'un d'entre eux est perpendiculaire à un clivage parfait. Le pouvoir rotatoire, pour l'axe *non* perpendiculaire au clivage (axe *fort*), est *droit* et égal à $+64° \pm 6°$; pour l'autre axe (axe *faible*), il est *gauche* et égal à $-22° \pm 2°$, pour une épaisseur de 1 centimètre. La rotation pour le sucre fondu,

---

(1) Pocklington, *Philos. Magaz.*, 6e série, t. II, p. 361 ; 1901. — Analysé dans *J. de Phys.*, 4e série, t. III, p. 54 ; 1904.

(2) Gouy, *Sur les effets simultanés du pouvoir rotatoire et de la double réfraction* (*J. de Phys.*, 2e série, t. IV, p. 149 ; 1885).

calculée d'après le pouvoir rotatoire des dissolutions, serait de $+ 10^{\circ}$.

Avec l'analyseur circulaire, M. Pocklington, opérant sur des plaques trop minces, n'a vu que le commencement de la spirale; les tours de spire sont rapidement *décalés*, dès qu'on s'éloigne de l'axe, au voisinage de la position qu'occupe en lumière polarisée rectilignement l'hyperbole neutre. Le phénomène rappelle celui des cristaux n'ayant pas de pouvoir rotatoire; dans ceux-ci, l'hyperbole neutre prend une intensité $\frac{1}{2}$, et les demi-anneaux placés de part et d'autre de l'hyperbole sont contractés ou dilatés d'un quart de la distance qui les sépare du suivant. Les *fig.* 1 et 2 (Pl. I) représentent les spirales pour les deux axes du sucre, obtenues avec deux plaques de 4 millimètres d'épaisseur et pour la raie violette de l'arc au mercure ($\lambda = 0^{\mu},4358$). La vibration incidente est parallèle au plan des axes optiques. L'analyseur est un analyseur circulaire; en changeant le sens de rotation de la vibration circulaire transmise, on fait tourner la spirale de rotation de 180°, sans changer sa forme. Dans ces photographies, 1 centimètre répond à un angle des rayons *extérieurs* égal à 3° [1].

Pour le sel de Seignette potassique $[(C^4H^4O^6)NaK + 4H^2O]$, M. Pocklington donne la valeur approchée $+ 12^{\circ}$ par centimètre; ici le sel est orthorhombique, avec hémiédrie non superposable, et la rotation est la même pour les deux axes.

J'ai cherché à étendre les observations à d'autres sels en rendant le procédé d'observation plus facile et d'un emploi plus général. M. Pocklington observe les plaques entre deux nicols, sans appareil convergent, ce qui revient à l'emploi de la pince à tourmalines; il n'est guère possible par ce moyen, avec des cristaux médiocrement biréfringents, comme le sucre, d'observer des plaques de plus de 6 à 7 millimètres d'épaisseur; les anneaux sont trop serrés. M. Pocklington indique une autre méthode qui permettrait d'étudier des plaques plus épaisses, mais exige des plaques assez étendues et bien homogènes; elle consiste à placer la plaque devant l'objectif d'une lunette, en mettant le polariseur en avant de la plaque et l'analyseur en arrière de l'oculaire.

On pourra étudier des substances très biréfringentes, en plaques

---

[1] M. Cotton, maître de conférences à l'École normale, m'a prêté son concours pour l'obtention de ces photographies avec une complaisance dont je le remercie vivement.

assez épaisses, en modifiant légèrement les microscopes employés pour les observations en lumière convergente. On sait que dans ces instruments, microscope ordinaire ou appareil à angle des axes, l'image réelle des courbes isochromatiques formée dans le plan focal d'un objectif très convergent (*focus*) est examinée à l'aide d'une lentille auxiliaire, formant avec l'oculaire un nouveau microscope de faible grossissement. Il suffira de remplacer le *focus* par un objectif très faible, et la lentille auxiliaire par une lentille plus puissante ou un objectif de grossissement moyen. On peut ainsi étudier des corps très biréfringents, comme l'acide tartrique, où la biréfringence maximum atteint 0,109, sous une épaisseur de 1 centimètre.

J'ai vérifié d'abord les résultats de M. Pocklington ; pour le sucre de canne, j'ai retrouvé les mêmes valeurs dans les limites des erreurs d'expérience. Pour le sel de Seignette potassique, je trouve une rotation un peu plus forte, $+13^{\circ},5$ au lieu de $+12^{\circ}$.

Avec le sel de Seignette ammoniacal $[(C^4H^4O^6)\ NaAzH^4 + 4H^2O]$, on a une rotation *gauche* de $-15^{\circ},5$ par centimètre. Les deux sels sont droits en dissolution avec des pouvoirs rotatoires presque égaux. Mais il faut remarquer que, dans ces deux sels isomorphes, les axes optiques occupent des positions très différentes, et le changement de signe prouverait simplement que, comme dans le sucre, le pouvoir rotatoire cristallin est très variable avec la direction.

Au même système orthorhombique, avec le même genre d'hémiédrie, appartient le *d*-méthyl-α-glucoside, $C^6H^{11}(CH^3)O^6$. Il est dextrogyre en dissolution avec un pouvoir rotatoire considérable, $[\alpha_D] = 157^{\circ},5$. Les cristaux donnent suivant les axes une rotation *droite* de $+44^{\circ}$ par centimètre.

L'hémiédrie non superposable du système orthorhombique se présente dans quelques cristaux dont les dissolutions sont absolument inactives, et où par conséquent l'existence du pouvoir rotatoire cristallin tient uniquement à un phénomène de structure tout à fait indépendant de la symétrie ou de la dissymétrie de la molécule.

1° Le sulfate de magnésie ordinaire (sel d'Epsom) cristallise avec 7 molécules d'eau en cristaux hémièdres. Il m'a donné une rotation *gauche* de -26° environ par centimètre. Les quelques cristaux assez volumineux et limpides pour se prêter à l'observation avaient la même forme, la face du sphénoèdre terminal à gauche et en haut en regardant l'angle obtus du prisme, et tous les trois tournaient à

gauche. Il n'est pas douteux que des cristaux symétriques de ceux-ci donneraient une rotation droite.

2° Le phosphate monosodique PO^4NaH^2 peut cristalliser avec deux molécules d'eau, comme nous l'avons montré, A. Joly et moi, il y a un certain nombre d'années(1). Les cristaux que j'ai obtenus récemment, comme ceux que j'avais étudiés autrefois, présentent tous la même forme hémièdre et ont le même pouvoir rotatoire à *droite;* la valeur moyenne obtenue sur 5 bons cristaux est + 44°,5.

L'arséniate monosodique $AsO^4NaH^2 + 2H^2O$ est complètement isomorphe avec le phosphate et doit présenter un pouvoir rotatoire voisin ; mais je n'ai pu, à cause de l'élévation de la température, obtenir de bons cristaux de ce sel.

3° Le formiate de strontiane, étudié par Pasteur, qui avait essayé inutilement, nous savons pourquoi aujourd'hui, d'obtenir avec ce sel des dissolutions actives, ne présente pas, malgré son hémiédrie, de pouvoir rotatoire sensible sous une épaisseur de $9^{mm},5$.

Dans le système clinorhombique, j'ai observé la polarisation rotatoire dans l'acide tartrique et dans le rhamnose ou isodulcite.

L'acide tartrique a pour bissectrice obtuse des axes optiques l'axe binaire, qui est le seul élément de symétrie du cristal; les axes optiques sont donc symétriques par rapport à cet axe, et, par conséquent, sont identiques au point de vue du pouvoir rotatoire. L'acide tartrique ordinaire (ac. dextro-tartrique) présente suivant les axes une rotation *gauche* plus marquée que dans les corps précédents. J'ai mesuré la rotation pour la raie D sur 4 plaques d'épaisseurs très différentes, et suis arrivé aux nombres suivants :

Épaisseur	Rotation pour 1 centimètre
$2^{mm},1$	— 116°
3 ,3	— 113 ,5
8 ,7	— 112
9 ,8	— 114 ,5

J'admettrai la valeur moyenne — 114° par centimètre.

J'ai mesuré sur la plaque de $9^{mm},8$ les pouvoirs rotatoires pour les raies du lithium et du thallium, et ai obtenu les valeurs suivantes :

Raies	Longueurs d'onde	Rotation pour 1 centimètre
Li	$0^{\mu},6708$	— 85°, 5
D	0 ,5893	— 114
Tl	0 ,5350	— 142 , 25

(1) A. Joly et H. Dufet, *Sur l'orthophosphate et l'arséniate monosodique* (*Bull. Soc. minér.*, t. IX, p. 194; 1886).

C'est là une dispersion tout à fait normale. Une plaque de quartz qui donnerait une rotation de 114° pour la raie D donnerait pour le lithium 87° et pour le thallium 140°.

Ce fait est intéressant à signaler à cause des anomalies que présente l'acide tartrique en dissolution. Le pouvoir rotatoire est presque constant dans l'étendue du spectre visible, avec un maximum qui se déplace du violet vers le rouge quand la concentration augmente ou quand la température diminue. Ce pouvoir *dextrogyre* diminue quand la concentration augmente et finit par changer de signe pour des dissolutions aqueuses sursaturées et les rayons les plus réfrangibles du spectre. Le même phénomène se produit avec les dissolutions alcooliques.

La seconde substance clinorhombique étudiée est le rhamnose, longtemps appelé improprement isodulcite. C'est un sucre de formule $C^5H^9(CH^3)O^5$, qui cristallise avec une molécule d'eau ; à l'état surfondu ou en dissolution aqueuse, il est faiblement *dextrogyre*, et *lévogyre* dans l'alcool. C'est de beaucoup, parmi les corps que j'ai étudiés, celui qui permet le plus facilement l'observation des phénomènes de polarisation rotatoire [1]. Les cristaux présentent, comme le sucre, la dispersion inclinée; la bissectrice aiguë des axes optiques fait un angle de 6° 40′ avec une face généralement bien développée, parallèle à l'axe binaire et à la hauteur du prisme, de sorte qu'on peut observer les axes optiques dont l'angle vrai est de 58° 5′ à travers cette face, soit dans l'air, soit mieux dans un liquide réfringent tel que l'iodure de méthylène. Connaissant l'épaisseur du cristal et les angles que font les axes intérieurs avec la normale à la plaque, on a l'épaisseur traversée ; les résultats concordent d'ailleurs parfaitement avec ceux obtenus sur des plaques taillées normalement aux axes optiques.

La rotation est *gauche* pour les deux axes; elle atteint, pour la lumière du sodium, la valeur considérable de —129° pour l'un des axes (axe *fort*), celui qui est le plus éloigné de la normale à la face d'observation, et pour l'autre axe (axe *faible*) elle est de —54° par centimètre. Ces nombres sont la moyenne des mesures effectuées sur 10 cristaux, où l'épaisseur traversée a varié de 5 millimètres à $11^{mm},5$.

---

[1] La détermination complète des propriétés cristallographiques et optiques du rhamnose sera donnée dans le *Bulletin de la Soc. de Minéralogie*, année 1904.

PLANCHE I.

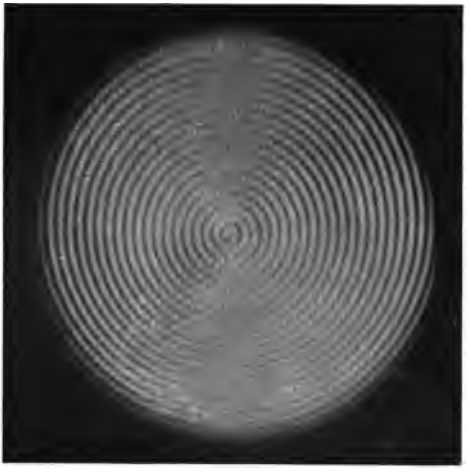


Fig. 1.

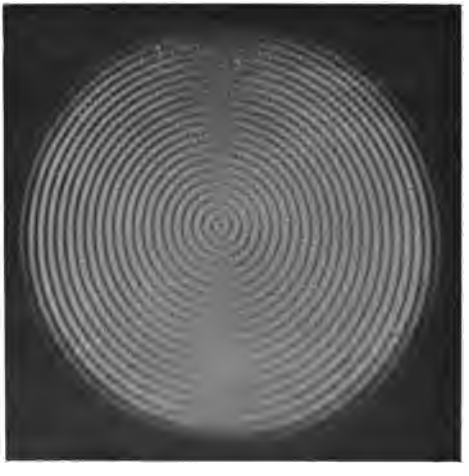


Fig. 2.

PLANCHE II.

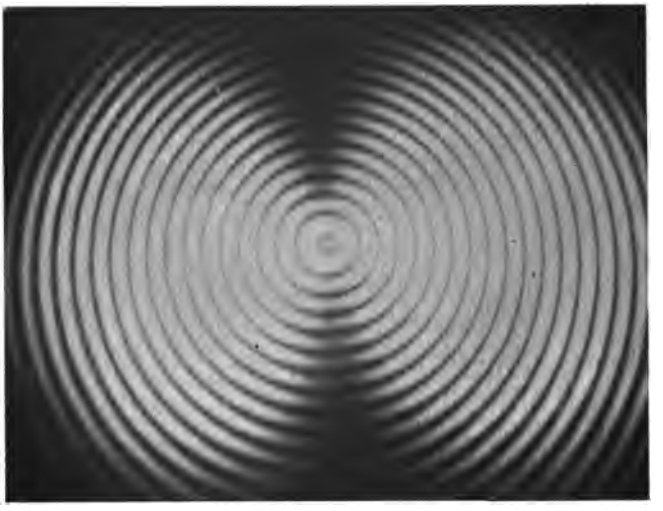


Fig. 3.

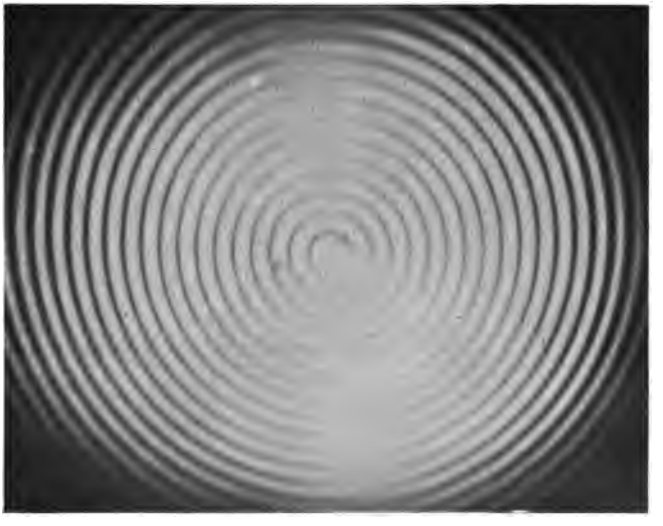


Fig. 4.

Le rhamnose est peu biréfringent ; la biréfringence maximum est 0,0107, tandis qu'elle est 0,033 dans le sucre et 0,109 dans l'acide tartrique ; aussi les phénomènes sont-ils très marqués. Sur l'axe fort, dès que l'épaisseur atteint 5 ou 6 millimètres, l'hyperbole neutre disparaît complètement au centre des anneaux ; les premiers anneaux se contractent ou se dilatent, avec une faible déformation, par la rotation de l'analyseur, en rappelant d'une façon frappante les phénomènes qu'on observe avec le quartz. Avec un analyseur circulaire on obtient une spirale régulière sur plus de 10 tours. La pince à tourmalines convient très bien pour l'observation. Il faut, bien entendu, opérer avec la lumière monochromatique, car les axes optiques sont notablement dispersés, 3° environ pour chaque axe, entre la lumière du lithium et la raie violette de l'hydrogène ($\lambda = 0^{\mu},4341$).

Les *fig.* 3 et 4 (Pl. II) représentent les anneaux et la spirale pour la raie violette du mercure ($\lambda = 0^{\mu},4358$), observés sur une plaque normale à l'axe fort, ayant une épaisseur de $6^{mm},27$. Dans ces figures comme dans les précédentes, une longueur de 1 centimètre répond à un angle des rayons *extérieurs* de 3°. La vibration incidente est parallèle au plan des axes optiques. La bissectrice aiguë se trouve en haut, par rapport à l'axe observé.

J'ai étudié la dispersion de pouvoir rotatoire pour l'axe *fort* sur une plaque de $8^{mm},95$. Ici encore la dispersion est normale. Dans le tableau suivant, je donne les résultats observés, ceux calculés par la formule :

$$\rho = 59,68 + 7,69 \cdot \frac{1}{\lambda^2} + 5,69 \cdot \frac{1}{\lambda^4}$$

et les rotations que donnerait une plaque de quartz d'épaisseur convenable.

Raies	Longueurs d'onde	Rotation pour 1 centimètre		Rotation du quartz
		observée	calculée	
Li.....	$0^{\mu},6708$	— 104	— 105	98,2
D.....	0 ,5893	— 129	— 129	129,0
Tl.....	0 ,5350	— 155	— 156	158,2
F.....	0 ,4861	— 195	— 194	194,8
Hg....	0 ,4358	— 261 (app.)	— 258	246,8

Je voudrais, en terminant, appeler l'attention des observateurs sur une conséquence des calculs de Willard Gibbs et de M. Chipart. Les cristallographes et les physiciens ont toujours affirmé d'une

manière plus ou moins explicite que, si l'on arrivait à montrer expérimentalement le pouvoir rotatoire dans les biaxes, ce ne serait que dans les corps qui donnent une forme cristalline non superposable à son image, comme c'est le cas général dans les substances qui possèdent en dissolution le pouvoir rotatoire moléculaire. En fait, c'est dans des cristaux de ce groupe que M. Pocklington et moi-même, en suivant la voie tracée par lui, l'avons rencontré. « C'est avec une « probabilité qui touche à la certitude, dit Ch. Soret [1], que l'on peut « dire que le pouvoir rotatoire ne se rencontre que dans les milieux « hémiédriques à formes conjuguées non superposables. » Cette opinion est corrélative de cette autre que le pouvoir rotatoire ne dépend pas de la direction ; c'est en particulier ce qu'avait admis von Lang. On voit ce qu'il en faut penser aujourd'hui. W. Gibbs était, au contraire, arrivé à la conséquence formelle que le pouvoir rotatoire était variable avec la direction, qu'il pouvait changer de signe dans un même cristal ; ne développant ses calculs que dans le cas des uniaxes, il indique un nouveau groupe de cristaux hémièdres pouvant posséder le pouvoir rotatoire. C'est celui de cristaux quadratiques ayant un axe binaire principal, deux plans de symétrie rectangulaires passant par cet axe, et deux axes binaires bissecteurs des plans de symétrie (hémiédrie *sphénoédrique* du système quadratique). Le pouvoir rotatoire aurait des valeurs égales et contraires suivant deux directions symétriques par rapport à un plan, et des valeurs égales et de même sens suivant deux directions symétriques par rapport à un axe. Il serait bien difficile, il est vrai, à mettre en évidence, puisqu'il serait évidemment nul suivant la direction de l'axe principal et n'atteindrait de valeur notable que dans des directions où la coexistence de la double réfraction ordinaire rendrait sa constatation sinon impossible, au moins singulièrement délicate.

M. Chipart [2] indique comme pouvant posséder le double pouvoir rotatoire, outre les cristaux présentant la tétartoédrie sphénoédrique du système quadratique où il offrirait les mêmes caractères et les mêmes difficultés de constatation que dans le cas indiqué par W. Gibbs, deux autres cas qui pourront permettre une vérification facile, non, à ce qu'il semble, avec les cristaux connus actuellement, mais avec d'autres que peuvent inopinément nous offrir les prépa-

---

(1) Ch. Soret, *Arch. de Genève*, 3e pér., t. XI, p. 414; 1884.
(2) Chipart, *loco citato*, p. 21.

rations de corps nouveaux, si fréquentes en chimie organique. C'est d'abord l'hémiédrie hémimorphe du système orthorhombique, où il existe, comme dans la calamine, un axe binaire par lequel passent deux plans de symétrie; dans le cas où les axes optiques seraient dans un plan perpendiculaire à l'axe de symétrie, plan qui est une des sections principales de l'ellipsoïde optique, ils pourraient présenter des pouvoirs rotatoires qui seraient dans ce cas égaux et de signe contraire (1). Le dernier cas est celui de l'hémiédrie superposable du système clinorhombique, où le seul élément de symétrie est un plan, dans le cas où les axes optiques auraient une de leurs bissectrices normale à ce plan. M. Chipart (2) retrouve plus loin, par son analyse, le fait évident que de semblables cristaux ne sauraient donner de dissolutions actives et qu'il n'y a à jouir de cette propriété que les cristaux à hémiédrie non superposable.

Rapport sur la nécessité d'établir un nouveau système de longueurs d'onde étalons, présenté au nom de la Société française de Physique;

Par MM. A. Pérot et Ch. Fabry.

La Société française de Physique, comme suite à la communication de la National Academy, a nommé une Commission chargée d'étudier la question de l'établissement d'une échelle de longueurs d'onde. C'est sur l'invitation de cette Commission que nous avons préparé le présent rapport pour le Congrès international d'Électricité de l'Exposition de Saint-Louis.

Nous avons, dans les lignes suivantes, cherché à exposer le plus clairement possible la nécessité de l'établissement d'une échelle de longueurs d'onde, à montrer que le spectre solaire devait être abandonné comme étalon et à définir l'unité absolue.

La mesure des longueurs d'onde, outre qu'elle est nécessaire aux chimistes pour caractériser les corps par leur spectre d'émission,

---

(1) Je dois ajouter que la *résorcine*, $C^6H^4(OH)^2$, orthorhombique, avec le genre d'hémiédrie et la disposition d'axes dont je viens de parler, ne m'a pas montré de pouvoir rotatoire sensible, sous une épaisseur de près de 1 centimètre.

(2) *Id.*, p. 59.

offre des moyens uniques d'investigation, aux physiciens en particulier pour l'étude de l'émission lumineuse et de la constitution des radiations, aux astronomes pour la mesure des vitesses radiales des astres et la recherche des phénomènes qui se passent à la surface de notre Soleil; mais, pour que ces études aient une base certaine, il faut que les longueurs d'onde soient mesurées avec toute la précision voulue, et il est intéressant au point de vue international d'adopter une unité définie qui, une fois choisie, ne devra plus varier.

Dans les recherches spectroscopiques, on est amené généralement à faire des mesures relatives, c'est-à-dire à comparer la longueur d'onde de la radiation étudiée à celle d'une radiation connue; s'il est possible avec certaines méthodes, telle la méthode interférentielle, de comparer directement sans aucun intermédiaire les longueurs d'onde de deux radiations quelconques, la méthode employée d'une manière courante, qu'elle repose soit sur l'emploi de prismes, soit sur celui de réseaux, ne permet que la détermination du rapport des longueurs d'onde de raies relativement voisines. Il résulte de là que la détermination d'une seule longueur d'onde serait insuffisante pour les applications, et qu'il faut, si l'on veut faire œuvre utile, mettre entre les mains des spectroscopistes les valeurs d'une série de longueurs d'onde convenablement choisies, déterminées par des méthodes instituées spécialement à cet effet avec toute la précision requise. Il en est de même dans d'autres travaux, tels par exemple que le nivellement du sol : loin de rapporter l'altitude d'une station quelconque directement au niveau de la mer, on relie usuellement l'altitude de cette station à celle d'une autre station déjà connue qui sert de base auxiliaire. On voit donc que, s'il est indispensable de déterminer les sources étalons de manière que les radiations émises puissent toujours être produites identiques à elles-mêmes, il est nécessaire également de fixer les valeurs d'onde d'un nombre suffisant de points de repère convenablement choisis.

L'établissement d'un exact système de longueurs d'onde est d'une importance capitale, puisque toute erreur sur ces longueurs d'onde fondamentales se reportera dans toutes les mesures spectroscopiques. Il serait désirable que les erreurs contenues dans le système fondamental fussent inférieures ou au plus égales aux erreurs accidentelles qui peuvent résulter des mesures par comparaison. Or, il est à peu près certain qu'il n'en est pas actuellement ainsi : les mesures par comparaison peuvent être faites, avec les puissants appareils dis-

persifs dont on dispose actuellement, avec une précision qui dépasse le millionième ; telle serait la précision des mesures si les valeurs des longueurs d'onde des raies de comparaison avaient la même précision : or celle de l'échelle adoptée est beaucoup moindre ; aussi M. Kayser pouvait-il récemment émettre l'opinion qu'une grande partie des désaccords entre les mesures faites par divers observateurs sur une même raie provenait de l'emploi de valeurs incorrectes pour les longueurs d'onde des raies de comparaison (1).

Depuis les admirables travaux de Rowland, c'est-à-dire depuis environ quinze ans, tous les travaux de spectroscopie ont été faits en prenant comme point de départ les nombres donnés par ce savant. On pouvait cependant déjà prévoir une difficulté dans l'application de ce système de longueurs d'onde : les mesures de Rowland ont été faites sur le spectre solaire, il faudrait donc, pour opérer d'une manière correcte, prendre le spectre solaire comme spectre de comparaison ; c'est ce que, peut-être, aucun observateur n'a fait ; on s'est servi de spectres de métaux, en admettant que les longueurs d'onde sont les mêmes que dans le spectre solaire ; or l'exactitude de ce postulat est de plus en plus improbable. Il est vrai que certaines raies métalliques, produites par l'arc électrique, ont été spécialement mesurées par Rowland ; mais ces mesures ne méritent pas la même confiance que celles des raies du spectre solaire ; Rowland était convaincu de l'identité absolue des longueurs d'onde dans le spectre solaire et dans celui de l'arc électrique, et, lorsque des écarts se manifestaient entre les deux espèces de spectres, il les attribuait à un déplacement de la plaque photographique ou à un défaut de réglage des faisceaux, et il cherchait par des corrections convenables à faire disparaître les écarts dans les résultats (2). En employant les nombres de Rowland

(1) H. Kayser, *Astrophysical Journal*, t. XIX, p. 158 ; 1904 (With a correct system of standards we could now determine the wavelengths of all the sharp lines — and 99 per cent. of all the lines can be got sharp — with an accuracy of it few thousandths of an Angstrom unit. I am sure that the much larger differences found by different observers are caused very often by the use of different, relative incorrect, standards).

(2) Rowland, *Physical Papers*, p. 564 (In every plate having a solar and metallic spectrum upon it, there is often — indeed always — a slight displacement. This is due either to some slight displacement of the apparatus in changing from one spectrum to the other, or to the fact that the solar and the electric light pass through the slit and fall on the grating differently. In all cases an attempt was made to eliminate it by exposing on the solar spectrum, both before and after the arc, but there still remained a displacement of 1/100 to 2/100 division of Angstrom, which determined and corrected for by measuring the difference

pour des raies de métaux dans l'arc électrique, on emploie donc ou bien des nombres obtenus en mesurant autre chose que ce que l'on emploie, ou bien des nombres un peu incertains; il faudrait se résoudre, si l'on voulait profiter le mieux possible des travaux de Rowland, à employer uniquement le spectre solaire comme spectre de comparaison.

Mais les valeurs données par Rowland pour les longueurs d'onde du spectre solaire sont-elles du moins parfaitement correctes ? L'auteur pensait qu'elles étaient exactes au millionième environ. La meilleure vérification consistait à reprendre les mesures d'un certain nombre de raies du spectre solaire lui-même, par une méthode aussi différente que possible de celle de Rowland, et autant que possible plus directe. C'est ce que nous avons fait (1) en comparant directement, par une méthode interférentielle, un certain nombre de raies du spectre solaire avec une même raie du cadmium. Nos mesures ont porté sur la partie du spectre comprise entre les longueurs d'onde 464 et 647.

La comparaison de nos résultats avec ceux de Rowland conduit aux résultats suivants :

1° Il n'existe pas, dans les tables de Rowland, d'erreurs accidentelles atteignant le millionième; il est même probable qu'au point de vue des erreurs accidentelles, les nombres de Rowland sont au moins aussi précis que les nôtres. Si l'on prend dans les tables de Rowland deux radiations très voisines, les rapports des nombres donnés pour les longueurs d'onde sont toujours parfaitement exacts;

2° Il existe dans les mêmes tables des erreurs systématiques notables (atteignant presque le cent-millième); ces erreurs varient d'une façon régulière en fonction de la longueur d'onde. Si donc on prend dans la table de Rowland les longueurs d'onde de deux radiations situées d'une manière quelconque, le rapport des deux nombres peut être erroné presque de 1 cent-millième, c'est-à-dire d'une quantité dix fois plus grande que les erreurs que l'on peut commettre dans les mesures de comparaison.

L'exactitude de nos résultats a donné lieu, au début, à quelques

---

between the metallic and coinciding solar lines, selecting a great number of them, if possible).

Voir aussi : Jewell, *Astrophysical Journal*, t. III, p. 89 ; 1896.

(1) Ch. Fabry et A. Perot, *Mesures de longueurs d'onde en valeur absolue ; spectre solaire et spectre du fer* (*Annales de Chimie et de Physique*, janvier 1902 ; et *Astrophysical Journal*, t. XV, p. 73 et 261 ; 1902).

contestations ; elle semble aujourd'hui généralement admise [1]. On ne voit d'ailleurs pas comment des erreurs systématiques, fonctions de la longueur d'onde, auraient pu s'introduire dans nos mesures.

Il y aurait donc lieu de reprendre les mesures de Rowland. Les erreurs n'étant que systématiques, et régulièrement variables avec la longueur d'onde, on pourrait se proposer de construire une table de correction, analogue à celle que nous avons donnée, mais plus étendue, de manière à profiter complètement du travail de Rowland ; mais il ne faudra pas, dans ce cas, perdre de vue que les nombres de Rowland ne s'appliquent qu'au spectre solaire, et, si l'on veut avoir les longueurs d'onde de raies métalliques, il faudra les comparer directement et sans idée préconçue aux raies solaires. On peut se demander s'il ne serait pas plus sûr, et presque aussi simple, de reprendre complètement le travail de la détermination des étalons. Nous allons donc envisager les diverses solutions possibles, en supposant le travail repris par la base.

Choix des radiations. — La première question à résoudre paraît être celle-ci : Convient-il, pour définir l'échelle des longueurs d'onde, d'adopter des radiations empruntées au spectre solaire, ou des radiations d'origine artificielle ?

C'est la première de ces solutions que l'on a adoptée au début de la spectroscopie (Angstrom), et que Rowland a conservée. Il est certain que l'emploi du spectre solaire a l'avantage de dispenser l'observateur de tout soin à donner aux sources de lumière, et que le nombre immense des raies de son spectre offre dans certains cas des avantages ; ce grand nombre de raies était à peu près nécessaire pour l'emploi de la méthode des coïncidences de Rowland. Mais l'emploi de ce spectre offre des inconvénients qui contre-balancent,

---

(1) Voir à ce sujet : Louis Bell, *On the discrepancy between grating and interference measurements* (*Astrophysical Journal*, t. XV, p. 157 ; 1902) ;

A. Pérot et Ch. Fabry, *A reply to the recent article by Louis Bell* (*Astrophysical Journal*, t. XVI, p. 36 ; 1902) ;

Louis Bell, *The Pérot-Fabry corrections of Rowland's wave-lengths* (*Astrophysical Journal*, t. XVIII, p. 191 ; 1903) ;

A. Fabry et Ch. Pérot, *On the corrections to Rowland's wave-lengths* (*Astrophysical Journal*, t. XIX, p. 119 ; 1904) ;

Ebernard, *Systematic errors in the wave-lengths of the lines of the Rowland's solar spectrum* (*Astrophysical Journal*, t. XVII, p. 141 ; 1903) ;

Hartmann, *A revision of Rowland's system of wave-lengths* (*Astrophysical Journal*, t. XVIII, p. 167 ; 1903) ;

Kayser, *On standards of wave-lenghts* (*Astrophysical Journal*, t. XIX, p. 157 ; 1904).

et bien au delà, ces avantages : en dehors des altérations régulières de longueur d'onde, produites par la rotation du Soleil et par les mouvements relatifs réguliers de la Terre ou du Soleil, altérations dont on tient facilement compte, la chromosphère solaire est le siège de mouvements violents ; d'autres causes mal connues peuvent agir, et l'on a des exemples de changements, momentanés il est vrai, mais extrêmement importants, de ce spectre (1). Si les nouvelles théories solaires de M. Julius (2) se confirmaient, de petites variations de longueurs d'onde de raies solaires n'auraient plus rien de surprenant. En outre, comme nous l'avons déjà fait remarquer, le spectre solaire n'est jamais employé comme spectre de comparaison, pas plus par les astronomes que par les physiciens ; on se sert toujours de radiations artificielles, qui ne peuvent être que des étalons secondaires si le spectre solaire est pris comme spectre fondamental. L'emploi de raies sombres pour la définition d'une longueur d'onde est peut-être moins simple et moins avantageux que l'emploi de raies brillantes. Enfin la mesure de la longueur d'onde d'une raie sombre par les méthodes interférentielles qui seront sans doute employées dorénavant pour les mesures fondamentales est beaucoup moins facile et un peu moins précise que la mesure d'une raie brillante.

Si l'on se décide à abandonner le spectre solaire pour l'établissement de l'échelle fondamentale des longueurs d'onde, on est forcément amené à prendre des sources de lumière artificielles donnant des raies brillantes (gaz rendu lumineux par des procédés convenables).

Les radiations choisies doivent satisfaire aux deux conditions fondamentales suivantes :

1° Il faut se mettre à l'abri de toute variation possible de la longueur d'onde, et pour cela définir exactement toutes les circonstances qui définissent l'état du gaz et la manière dont il est rendu lumineux. Cela exige certainement quelques précautions, et sur certains points de nouvelles études sont désirables ; mais on peut affirmer dès maintenant qu'il est possible d'avoir une constance

---

(1) Thollon, *Annales de l'Observatoire de Nice ;* — Hale, *Astrophysical Journal*, t. XVI, p. 220 ; 1902.

(2) W.-H. Julius, *Solar phenomena, considered in connection with anomalous dispersion of light* (*Astrophysical Journal*, t. XII, p. 185 ; 1900) ; *Reculiarities and changes of Fraunhofer lines interpected as consequences of anomalous dispersion of sunlight in the corona* (*Astrophysical Journal*, t. XVIII, p. 50 ; 1903) ; *Les théories solaires et la dispersion anomale.* (*Revue générale des Sciences*, t. XV, p. 480 ; 1904).

absolue de certaines longueurs d'onde. En tout cas l'emploi de sources artificielles présente sur l'emploi de la lumière solaire cet avantage immense que l'on peut expérimenter sur elles, tandis que, sur la lumière solaire, on ne peut qu'observer ;

2° Il faut que les raies brillantes employées comme étalons soient suffisamment fines, de manière à définir une longueur d'onde bien déterminée. Il faudra éviter de se servir de raies accompagnées de satellites, à moins qu'ils ne soient très faibles, de telle sorte que la longueur moyenne ne diffère pas de celle de la composante principale, ou qu'ils ne soient suffisamment écartés pour que l'on puisse employer l'une des composantes bien déterminée.

On peut dès à présent affirmer que les spectres de certains métaux dans l'arc électrique donneront un grand nombre de raies satisfaisant à toutes les conditions requises.

Les étalons primaires ainsi choisis pourraient ne pas être extrêmement nombreux ; quelques dizaines dans le spectre visible et ultraviolet suffiraient probablement ; il serait facile de leur rapporter par interpolation toutes les autres raies que l'on jugerait commode d'employer comme étalons secondaires. Quant au spectre solaire, son étude rentrerait dans le domaine de l'astronomie physique, comme un moyen extrêmement puissant pour l'étude des phénomènes solaires.

De l'unité. — Quant à la question de détermination de la longueur d'onde de ces radiations étalons, elle semble *a priori* pouvoir être faite suivant une unité de longueur arbitraire ; on pourrait songer à prendre par exemple la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium égale à l'unité ; le nombre caractérisant une longueur d'onde serait alors le rapport de cette longueur d'onde à la longueur d'onde du cadmium ; mais il semble bien préférable d'adopter une unité rattachée directement au système métrique, les comparaisons des longueurs d'onde entre elles comportant, semble-t-il, des erreurs du même ordre que celles qui ont pu être commises dans la mesure de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium faite par MM. Michelson et Benoit ; ces dernières erreurs, si elles existent, n'apparaîtraient pas ; la mesure en valeur absolue d'une seule longueur d'onde suffit d'ailleurs, puisque l'on peut sans difficulté, par la méthode interférentielle, comparer la longueur d'onde d'une radiation quelconque à celle de la radiation choisie comme étalon primaire. C'est du reste ce que nous avons fait dans tous nos travaux sur ce sujet,

et une longue pratique nous a montré que l'emploi des raies du cadmium ne présente pas de difficultés, et définit une longueur d'onde avec une précision qu'il sera bien facile de dépasser. Nous avons déjà donné les longueurs d'onde d'un certain nombre de raies du fer comparées de cette manière à la raie fondamentale du cadmium (1). Tout récemment M. Kayser a préconisé la même solution, et a annoncé que des mesures de ce genre étaient en cours dans son laboratoire (2).

M. Hartmann a proposé récemment (3) de choisir une unité de longueur telle que les nombres de Rowland soient le moins possible altérés ; en d'autres termes, les rapports entre les nombres de Rowland n'étant pas exacts, on ne peut dire qu'ils soient rapportés à une unité définie quelconque, mais on peut chercher une sorte d'unité moyenne, telle que ces nombres soient altérés le moins possible ; M. Hartmann a calculé une table de correction, simple transformation numérique de la nôtre, qui est basée sur cette condition. Il est évident que si, comme nous le proposons, on se décidait à reconstruire de toutes pièces une nouvelle échelle de longueurs d'onde, cette solution n'aurait aucune raison d'être. D'ailleurs, pour que l'énorme travail de Rowland ne soit pas perdu (on sait que la *preliminary table* contient environ 20.000 raies), il suffirait de comparer par interpolation quelques raies solaires avec les étalons fondamentaux, et de construire une table de corrections plus étendue et peut-être plus exacte que celle que nous avons donnée.

Influence de l'air. — Les longueurs d'onde doivent être définies par leurs valeurs dans l'air. Les valeurs absolues étant très notablement affectées par les variations de température et de pression, il convient, comme l'ont fait MM. Michelson et Benoit, de définir soigneusement ces conditions pour les mesures absolues ; mais les rapports des longueurs d'onde sont très peu affectés par les variations atmosphériques, à cause de la faible dispersion de l'air. Cependant, dans des conditions extrêmes de température et de pression, et pour les extrémités du spectre, les variations des rapports des longueurs d'onde peuvent porter sur les millionièmes. Il y a donc lieu, dans la définition de l'échelle des longueurs d'onde, de dire à quelle température

(1) *Ann. de Ch. et de Ph.*, janvier 1902 ; et *Astrophysical Journal*, t. XV, p. 73 et 261 ; 1902.

(2) *Astrophysical Journal*, t. XIX, p. 157 ; 1904.

(3) *Astrophysical Journal*, t. XVIII, p. 167 ; 1903.

et à quelle pression elle a été établie ; mais une définition assez grossière de ces conditions suffit. Dans les mesures par interpolation, il n'y a jamais à tenir compte des conditions atmosphériques.

Conclusions. — La solution qui s'impose donc consiste à adopter comme étalon fondamental une raie du cadmium sous certaines conditions de température et de pression, produite dans des conditions rigoureusement déterminées, connue en valeur absolue, grâce aux mesures de MM. Michelson et Benoit.

Les conclusions du présent rapport sont donc :

1° Il y a lieu d'établir une échelle nouvelle de longueurs d'onde étalons ;

2° Ces longueurs d'onde seront celles de radiations dues à des sources artificielles, parfaitement définies, et susceptibles d'être reproduites toujours les mêmes ;

3° Elles seront mesurées par des expériences spéciales faites par différents expérimentateurs relativement à la radiation rouge du cadmium, produite par le passage d'un courant alternatif ou d'une décharge de bobine dans un tube de Michelson à électrodes d'aluminium dont le tube capillaire a 1 centimètre de longueur et 2 millimètres de diamètre ;

4° Provisoirement, et jusqu'après de nouvelles expériences, la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium ainsi définie sera considérée comme égale à 643,84722, dans l'air à 15° sous la pression de 760 millimètres de mercure ;

5° Parallèlement à ce travail, on déterminera une courbe de corrections relatives aux mesures de Rowland.

L'ionisation par le phosphore et par les actions chimiques ;

Par M. Eugène Bloch [1].

Les gaz ionisés. — Les gaz, qui, dans les conditions ordinaires, sont des isolants presque parfaits, peuvent prendre une conductibilité notable sous l'influence de certains agents dont les plus connus sont : les rayons de Röntgen, les rayons de Becquerel, les rayons de Lenard, la lumière ultra-violette agissant sur une lame métallique chargée négativement, la chaleur, les aigrettes, etc. La conducti-

[1] Séances du 6 février 1903 et 5 février 1905.

bilité qui apparaît dans ces différents cas est unanimement attribuée aujourd'hui à des centres chargés distincts ou *ions* [1] positifs ou négatifs, libérés dans le gaz par les radiations, la chaleur, etc. Les rayons de Röntgen, par exemple, créent dans un gaz pendant chaque seconde un nombre déterminé d'ions des deux signes. Sous l'influence d'un champ électrique, ces ions se mettent en mouvement dans un sens ou dans l'autre, suivant le signe de leur charge. Ils se déplacent avec une vitesse finie qui est proportionnelle au champ électrique. Le coefficient de proportionnalité, qui est la vitesse acquise dans un champ de 1 volt par centimètre, s'appelle la *mobilité* de l'ion. Si un gaz ionisé est abandonné à lui-même, sa conductibilité disparaît peu à peu par suite de la *recombinaison* progressive des charges de signes contraires; une autre cause de disparition spontanée de la conductibilité est la *diffusion* des ions vers les parois conductrices voisines qui absorbent leur charge.

Si le gaz est soumis à un champ électrique croissant, le courant qu'on peut en extraire augmentera jusqu'à un certain maximum appelé *courant de saturation*, qu'il est impossible de dépasser, à moins que le champ ne devienne disruptif; il est évident, en effet, que les charges extraites du gaz par seconde sont au plus égales aux charges libérées par la source d'ionisation pendant le même temps; et elles n'atteignent cette limite que quand le champ leur imprime un déplacement si rapide qu'elles arrivent aux électrodes avant d'avoir pu se recombiner ou diffuser d'une manière appréciable. Par conséquent, dans un gaz ionisé, la courbe qui donne le courant en fonction de la force électromotrice s'écarte de la courbe linéaire qui représenterait la loi d'Ohm et à l'aspect des courbes de la *fig.* 2. Inversement une courbe de ce genre, trouvée expérimentalement dans un gaz conducteur, permet de conclure, avec quelque vraisemblance, à l'ionisation du gaz.

Un fait extrêmement remarquable dans l'étude des gaz ionisés est celui-ci : les ions produits dans tous les phénomènes cités ci-dessus ont des mobilités du même ordre de grandeur, un peu plus grandes pour les ions négatifs ($1^{cm},7$) que pour les ions positifs ($1^{cm},4$). Ils ont aussi des coefficients de recombinaison et de diffusion très voisins. Enfin, ils jouissent tous d'une importante propriété commune,

[1] Voir, pour tout ce qui est relatif à l'ionisation en général, l'un des ouvrages suivants : Langevin, Thèse de doctorat, et *Ann. Ch. Ph.*, t. XXVII, 1903; — J.-J. Thomson, *Conductivity of gases.*

qui est celle de servir de noyaux de condensation à la vapeur d'eau sursaturante. Si l'on produit une détente brusque dans un volume v_1 saturé de vapeur d'eau et bien privé de poussières, et si le volume final est désigné par v_2, l'expérience montre que la condensation de la vapeur d'eau sursaturante ainsi produite n'a lieu que pour les détentes $\frac{v_2}{v_1}$ supérieures à 1,40. La condensation se produit au contraire à partir de la détente 1,25 si le gaz renferme des ions négatifs, et à partir de la détente 1,31 si le gaz renferme des ions positifs. On a pu déduire de ces phénomènes de condensation la charge absolue commune aux ions des deux signes et qui est égale à peu près à 4×10^{-10} unités électrostatiques C. G. S.

La conductibilité produite par le phosphore. — Ces faits généraux étant rappelés, on comprendra aisément les controverses qu'a soulevées l'étude de la conductibilité de l'air produite par le phosphore. L'air qui avoisine un bâton de phosphore devient, en effet, conducteur de l'électricité ; mais ce phénomène se présente avec une complexité telle et des caractères si singuliers qu'il se distingue nettement des cas de conductibilité gazeuse ordinaires [1].

Les premiers physiciens qui ont étudié la question (Naccari, Elster et Geitel, etc.) ont montré que la conductibilité est liée à l'oxydation du phosphore. Mais on sait que, dans les conditions ordinaires, cette oxydation est accompagnée de la production d'un nuage renfermant principalement des oxydes et acides du phosphore, et mêlé d'ozone. On pouvait se poser à ce sujet diverses questions : Quel est le mécanisme de la production de la conductibilité? Quelle est la nature de cette conductibilité ?

En ce qui concerne le second point, la plupart des auteurs (Barus, Harms, etc.) ont toujours admis implicitement l'hypothèse d'une ionisation du gaz. Schmidt, au contraire, est nettement opposé à cette hypothèse. D'après lui, le nuage qui avoisine le phosphore jouerait le rôle essentiel dans la conductibilité ; mais, loin de renfermer des charges libres, il serait formé de particules conductrices neutres (acides solides du phosphore?) qui iraient décharger alternativement chaque électrode, comme dans l'expérience classique de

---

[1] Voir les détails sur tout ce qui va suivre dans ma Thèse de doctorat, Paris, juin 1904. Les principaux résultats ont été publiés aux *Comptes Rendus* (décembre 1902, décembre 1903, 13 et 20 juin 1904), et communiqués à la Société de Physique (février 1903 et février 1904).

la grêle électrique. Il ne s'agirait donc plus d'une ionisation, mais d'une véritable convection, et la conductibilité du gaz ne serait qu'apparente. Schmidt trouve, en particulier, une proportionnalité approchée entre le courant et la force électromotrice, conformément à la loi d'Ohm, et cela jusqu'à des voltages très élevés; il voit là une confirmation de l'hypothèse d'une convection. Une polémique animée s'est engagée sur ce sujet, en Allemagne, entre Schmidt et ses contradicteurs, en particulier Harms, et elle se poursuit encore (1). Nous verrons cependant que l'on peut arriver maintenant, grâce à de nouvelles expériences, à se faire sur ces points des idées nettes.

Quant au mécanisme de la production de la conductibilité, il est encore fort obscur et loin d'être élucidé à l'heure actuelle. Faut-il attribuer le phénomène à l'action directe de l'oxygène sur le phosphore? Faut-il au contraire, avec Harms et Guggenheimer, attribuer à l'ozone ou à la vapeur d'eau le rôle essentiel? Les expériences ne me paraissent encore ni assez variées, ni assez rigoureuses pour permettre de décider entre ces hypothèses et d'autres que je me dispense d'énoncer.

Dans les expériences que je vais relater, je n'ai pas abordé en réalité la question de l'origine de la conductibilité. Je me suis placé dans un cas où se produisait une conductibilité intense et me suis proposé d'élucider la nature de cette conductibilité; cette question paraissait déjà assez embrouillée pour mériter une étude spéciale. J'ai cherché aussi à rendre mes expériences aussi comparables que possible à celles des autres physiciens qui se sont occupés de la question, afin de pouvoir faire définitivement un choix parmi les faits et les opinions contradictoires émises sur ce sujet.

Méthode employée. — Mesure de la vitesse d'un courant gazeux. — J'ai employé constamment une méthode de courant gazeux. Le phosphore est placé dans un tube de verre à température à peu près constante, et on envoie dans ce tube un courant d'air très régulier et très sec, qui est ainsi rendu conducteur. La régularité est obtenue en faisant écouler l'eau d'un vase de Mariotte dans un récipient d'où l'air est chassé progressivement à un taux constant. La dessiccation est réalisée très rigoureusement à l'aide d'un long sécheur chimique renfermant les substances habituelles (en dernier lieu une colonne d'anhydride phosphorique d'un mètre de longueur).

---

(1) Voir à ce sujet la note de la page 192.

On ne peut prétendre par ce moyen obtenir sûrement les mêmes résultats que si le phosphore, lui aussi, avait été purifié et desséché, et l'intervention d'une trace de vapeur d'eau dans le phénomène reste possible. Mais la dessiccation rigoureuse de l'air avait surtout un avantage principal révélé par l'expérience : les phénomènes électriques, qui, avec de l'air humide, sont très intenses, mais très capricieux, deviennent, avec de l'air sec, moins intenses, mais remarquablement réguliers, surtout au bout de quelques jours. Une étude quantitative sérieuse des phénomènes devenait dès lors possible.

L'air sec qui a passé sur le phosphore et acquis des propriétés électriques régulières passe ensuite dans l'appareil (variable) où l'on étudie ses propriétés et enfin dans un appareil où on mesure sa vitesse : la connaissance de cette vitesse est en effet indispensable dans tout ce qui va suivre. Le procédé qui m'a servi à vérifier la régularité et à mesurer la vitesse du courant d'air est fondé sur la viscosité de ce gaz. On le fait passer à travers un tube de verre (20 centimètres de long, 3 millimètres de large) entre les extrémités duquel on a établi une dérivation de même diamètre disposée comme l'indique la *fig.* 1 et contenant une bulle de xylène. L'écoulement même du gaz produit entre les extrémités du tube une différence de pression p qui, d'après les lois de la viscosité des fluides, est reliée au débit U par la formule de proportionnalité :

$$p = \frac{8\mu l}{\pi a^4} U,$$

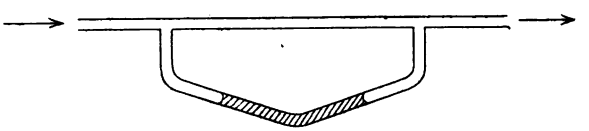


Fig. 1.

et peut par suite permettre de le mesurer; dans la formule, a et l désignent le rayon et la longueur du tube, μ le coefficient de viscosité de l'air (0,002 environ). Avec les données numériques précédentes, on trouve, pour un débit de 10 centimètres cubes, une différence de pression de 190 baryes. Or la dérivation à bulle de xylène fonctionne comme un manomètre sensible du type Töpler; les déplacements de la bulle peuvent être exactement appréciés en

pointant une de ses extrémités avec un viseur porté par le chariot d'une machine à diviser; ils sont proportionnels à la différence de pression et par suite au débit qu'il s'agit de mesurer. A la différence de pression de 190 baryes calculée ci-dessus, il est facile de faire correspondre un déplacement de 4 centimètres pour la bulle de xylène et de la mesurer par conséquent à $\frac{1}{1000}$ près au moins. On peut ainsi, par un moyen à la fois précis et sensible, non seulement suivre à l'œil les moindres variations du débit, mais encore mesurer celui-ci en valeur absolue à la suite d'un étalonnage convenable. La méthode a, de plus, l'avantage de n'altérer en rien le courant gazeux.

Existence d'un courant de saturation. La conductibilité est due à des ions. — On peut d'abord constater la conductibilité du gaz en l'envoyant à travers un condensateur cylindrique dont l'armature extérieure est chargée et dont l'armature intérieure est reliée à un électromètre. L'électromètre est du type Curie et de sensibilité moyenne (400 divisions pour 1 volt à 2 mètres). L'aiguille est chargée à un potentiel fixe, une des paires de quadrants est reliée à la cage et l'autre à l'appareil dont on étudie les variations de potentiel.

Aussitôt que l'on a isolé, par un interrupteur actionné à distance, cette paire de quadrants qui était, elle aussi, reliée primitivement à la cage, si le gaz qui circule dans le condensateur est conducteur, le champ qui y règne amène les charges d'un certain signe sur l'électrode centrale, et l'électromètre dévie avec une vitesse qui donne une mesure de la conductibilité.

On trouve ainsi en premier lieu que les charges des deux signes se comportent exactement de même et peuvent être extraites du gaz en quantités égales dans des temps égaux. Le gaz ne transporte au total aucune charge. En second lieu, si la vitesse du courant gazeux reste constante, et si on fait croître le potentiel de l'armature externe du condensateur, le courant mesuré par la vitesse de déviation de l'électromètre croît et tend vers un *maximum* (courant de saturation), à condition que le condensateur soit assez long et que la vitesse du gaz ne soit pas trop grande. Ce fait ayant été encore récemment contesté [1], il ne sera peut-être pas inutile de citer les quelques

---

[1] Schmidt, *Phys. Zeitschr.*, 1er août 1904. — Cet auteur dit dans une note, en parlant de mes expériences sur l'existence d'un courant de saturation : « Je montrerai dans mon travail détaillé que ce résultat est *faux* et que, par suite, toutes les conséquences relatives à la mobilité, à la vitesse de recombinaison, etc.,

exemples suivants, pris entre beaucoup d'autres, et de donner les courbes représentatives (*fig.* 2) (les temps étaient mesurés avec un chronomètre donnant le 5e de seconde) :

	Nombres d'accumulateurs	Temps nécessaires pour parcourir 100 divisions	Courants en unités arbitraires (Inverses des temps précédents)
I	5	50,2 sec.	2,0
	10	15,9	6,3
	15	11,7	8,5
	25	9,5	10,5
	50	7,7	13
	106	7,2	13,9
	162	7,1	14,1
II	5	20,1	5,0
	10	12,9	7,8
	15	10,6	9,4
	25	8,8	11,4
	35	8,5	11,8
	50	8,0	12,5
	78	7,6	13,2
	116	7,6	13,2
	162	7,5	13,3
III	28	18,5	5,4
	56	9,8	10,2
	112	6,8	14,7
	168	6,5	15,4
	224	6,4	15,6
	274	6,4	15,6

On voit qu'à l'ordre de précision des expériences la saturation est rigoureuse, et ainsi se trouve nettement établie l'existence de l'ionisation du gaz. Il y a cependant une importante différence entre le cas actuel et celui des rayons de Röntgen, par exemple : le courant de saturation n'est atteint en général que pour un voltage relative-

---

ne sont pas soutenables. » Il ajourne d'ailleurs la publication de ce travail détaillé *après celui de Harms* et déclare qu'il considère la *discussion* comme épuisée. — Bien que j'aie toujours évité jusqu'ici de me mêler directement à la polémique entre Schmidt et Harms, malgré ma préférence caractérisée pour ce dernier, il m'est impossible de laisser passer sans les relever des affirmations aussi tranchantes que les précédentes. Le détail de mes expériences me paraît, du reste, faire bien suffisamment justice de ces affirmations. A mon avis, Harms, Elster et Geitel ont déjà, sur les points essentiels, réfuté entièrement les opinions de Schmidt. Quant à la subtile distinction que fait celui-ci, dans son dernier mémoire, entre les poussières solides et liquides, mes expériences sur le passage dans l'eau de l'émanation du phosphore et sur les gaz récemment préparés montrent surabondamment son manque de consistance (Voir plus loin).

ment élevé. Tout se passe comme si les ions actuels se déplaçaient dans le gaz beaucoup plus difficilement que les ions ordinaires.

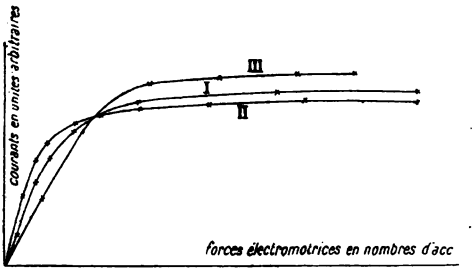


Fig. 2.

On pourrait attribuer cette différence à ce que l'oxydation de la vapeur de phosphore entraînée continue à l'intérieur du condensateur cylindrique et à ce que, par suite, de nouveaux ions s'y produisent à mesure que les anciens sont arrêtés par le champ. Il est évident, en effet, que dans ces conditions la saturation serait beaucoup plus difficile ; et c'est une hypothèse de ce genre que fait J.-J. Thomson pour expliquer certaines expériences de Barus.

L'expérience m'a montré qu'il fallait y renoncer. Si, en effet, on place à la suite l'un de l'autre deux condensateurs cylindriques analogues au précédent, et si la conductibilité du gaz est tout entière produite *avant* l'entrée du gaz dans le premier condensateur, un champ suffisant créé dans ce condensateur arrêtera tous les ions et supprimera entièrement la conductibilité du gaz. L'électromètre relié, comme tout à l'heure, à l'électrode centrale du second condensateur chargé, ne devra pas dévier. Dans le cas contraire, il devra évidemment subsister une conductibilité appréciable au second condensateur, qui pourra même croître, si l'on éloigne les deux condensateurs l'un de l'autre. L'expérience, répétée avec les courants gazeux et les dispositions d'appareil les plus variées, a toujours donné le même résultat : *la conductibilité du gaz peut toujours être supprimée par un champ suffisamment intense et ne reparaît pas ensuite progressivement dans le gaz*. On est donc conduit à attribuer la difficulté de la saturation à la faible mobilité des ions.

Mesure des mobilités. — La seule manière d'acquérir à cet égard une certitude était de mesurer la mobilité des ions. J'y suis parvenu en modifiant convenablement la méthode, dite des courants gazeux,

imaginée par Mac Clelland pour l'étude des gaz de la flamme et perfectionnée par Zeleny, qui l'a appliquée au cas des rayons de Röntgen. Je ne détaillerai pas les différentes formes que je lui ai données de mon côté, me bornant à exposer la dernière et aussi la plus exacte, qui emploie l'électromètre comme appareil de zéro. Dans l'axe d'un tube métallique C (*fig.* 3) traversé par le gaz uniformément ionisé, on a placé deux électrodes isolées A et B de même diamètre, mais

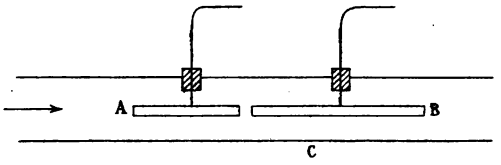


Fig. 3.

dont la seconde est plus longue que la première. Le courant gazeux va de A en B, et les deux électrodes sont respectivement reliées aux deux paires de quadrants d'un électromètre dont l'aiguille est chargée. Elles sont primitivement au potentiel zéro et peuvent être isolées simultanément au moyen d'un interrupteur double actionné par un électro-aimant. Le tube C, lui, peut être chargé à des potentiels variables. Le calcul montre aisément que, pour une vitesse donnée du courant gazeux, si on isole brusquement les deux systèmes A et B, l'électromètre déviera dans un sens ou dans l'autre, suivant que le potentiel du tube C sera supérieur ou inférieur à une certaine valeur critique V. On peut s'arranger de manière que les capacités des deux systèmes isolés reliés aux deux paires de quadrants soient sensiblement égales. Dans ces conditions, si l'on a réussi à réaliser l'équilibre à l'électromètre, la mobilité se calculera par la formule :

$$K = \frac{U}{4\pi l V} L \frac{b}{a},$$

dans laquelle U représente le débit total de gaz (mesuré au manomètre Töpler) ; a, b, l, les rayons de l'électrode centrale et du tube C et la longueur de l'électrode A.

Une discussion approfondie montre d'ailleurs que la méthode s'applique plus exactement aux ions de faible mobilité qu'à ceux dont la mobilité est forte ; elle a de plus l'avantage très précieux de

réaliser la mesure par une seule expérience, par la simple constatation d'un équilibre.

Elle m'a conduit au résultat général suivant : la mobilité des ions positifs et négatifs produits par le phosphore est pratiquement la même; elle varie un peu suivant les conditions de l'expérience et l'état du phosphore. Elle reste comprise entre $\frac{1}{300}$ et $\frac{1}{30}$ de millimètre et est le plus souvent voisine de $\frac{1}{100}$ de millimètre. *Elle est donc au moins mille fois plus faible en moyenne que la mobilité des ions des rayons de Röntgen.*

Ce résultat explique et précise ce qui a été dit plus haut à propos des courbes de saturation. Il explique aussi la plupart des anomalies observées par Barus, Schmidt, etc. Il montre enfin que les ions produits par le phosphore appartiennent à une catégorie distincte de celle des ions ordinaires, dont les propriétés ont été résumées en tête de cet article.

Mesure du coefficient de recombinaison. — Ce résultat est confirmé par la mesure du coefficient de recombinaison des ions. L'expérience a montré que, dans les cas ordinaires, la conductibilité d'un gaz ionisé disparaît progressivement par suite de la recombinaison, et que la vitesse de la disparition des ions est proportionnelle au produit des concentrations des ions des deux signes (loi d'action de masse de Guldberg et Waage). Si donc la densité cubique n des charges des deux signes est la même, on aura, pour exprimer la diminution de cette densité avec le temps, une relation de la forme :

$$\frac{dn}{dt} = -\alpha n^2,$$

α étant un coefficient constant appelé coefficient de recombinaison. Pour mesurer α, il suffit de remarquer que l'intégration de l'équation précédente conduit à la relation :

$$\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_1} = \alpha T,$$

n_2 et n_1 désignant les densités électriques d'un certain signe à des époques séparées par le temps T. La mesure ou valeur absolue de n_2 et n_1 donnera α. A cet effet j'ai employé une méthode de courant gazeux dont le principe est dû à Rutherford, et que Townsend avait

déjà appliquée au cas de l'ionisation par les rayons Röntgen ; cette méthode directe paraît être la seule dont on ait tiré jusqu'ici des résultats rigoureux. Elle consiste à envoyer le courant gazeux dans un tube chargé T renfermant une électrode isolée R (*fig.* 4) reliée à

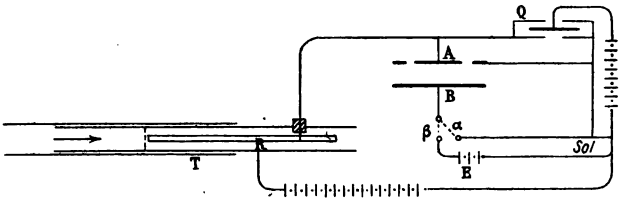


Fig. 4.

l'électromètre, et à mesurer le courant de saturation au niveau de cette électrode en arrêtant tous les ions par un champ suffisamment intense. Si ensuite on recule l'électrode le long du tube, à l'aide d'une coulisse, et si on recommence la mesure un peu plus loin, la valeur du nouveau courant de saturation sera moindre, par suite de la recombinaison partielle des ions pendant le temps que met le gaz à aller de l'ancienne position de l'électrode à la nouvelle. Le temps T se déduit du débit du gaz ; les deux courants de saturation sont évidemment proportionnels aux densités n_1 et n_2 des charges présentes dans le gaz au début et à la fin du temps T. Un étalonnage convenable de l'électromètre donnera aisément n_1 et n_2 en valeur absolue. On aura donc tous les éléments du calcul de α.

Pour faire l'étalonnage d'une manière rigoureuse, la paire de quadrants utilisée est reliée en permanence au plateau central A de l'armature à anneau de garde d'un condensateur plan étalon (capacité C = 31 unités). Pendant les expériences principales, l'autre armature B est reliée en α au sol ainsi que l'anneau de garde, et la capacité du système qui recueille les charges se trouve seulement un peu augmentée. — Pour réaliser ensuite l'étalonnage, on arrête le courant gazeux, isole l'électromètre et porte brusquement à un potentiel connu E de quelques volts l'armature B du condensateur qui était tout à l'heure au sol (il suffit pour cela de remplacer la liaison α par la liaison β). Il en résulte une influence sur l'électromètre qui lui imprime une déviation permanente. Cette déviation est proportionnelle à la charge connue que l'on a libérée dans le condensateur ($q = CE$), et le coefficient de proportionnalité est le même que

dans l'expérience principale. On connaît dès lors la valeur en quantité d'électricité d'une division de l'échelle électrométrique.

Pour les ions des rayons de Röntgen, dans l'air ordinaire dénué de poussières, Townsend a trouvé $\alpha = 3400$. Pour les ions du phosphore, j'ai trouvé des valeurs oscillant entre 1 et 5. Ici encore le coefficient est d'une petitesse anormale et en accord avec la petitesse des mobilités. Il est en effet naturel que les ions, peu mobiles dans un champ quelconque, ne se recombinent que très lentement sous l'influence de leurs attractions mutuelles.

Les phénomènes de condensation. — Barus avait découvert que l'air qui avoisine un bâton de phosphore active la condensation d'un jet de vapeur d'eau, de la même manière qu'une aigrette ou que le radium. Mais ses expériences tendraient à faire penser que cette condensation est en quelque sorte indépendante de la conductibilité du gaz.

Ayant trouvé pour les ions du phosphore une mobilité exceptionnelle, il y avait lieu de chercher si les phénomènes de condensation ne présentaient pas, eux aussi, une différence avec les phénomènes offerts par les ions ordinaires et résumés plus haut. J'ai constaté de suite le fait suivant : l'air très sec qui a passé sur le phosphore renferme toujours des poussières très ténues, visibles dans la lumière d'un arc suffisamment intense, mais invisibles à la lumière diffuse. Si on le fait passer dans une atmosphère de vapeur d'eau *simplement saturante*, il se produit dans le gaz une condensation abondante et très visible à la lumière diffuse, alors que les gaz ionisés ordinaires exigent une forte sursaturation de la vapeur pour provoquer la condensation.

J'ai du reste pu démontrer directement et rigoureusement : 1° que les centres chargés ou ions présents dans le gaz étaient, pour une grande partie au moins, confondus avec les poussières ténues visibles dans le gaz ; 2° que la condensation se produit surtout sur les ions fonctionnant comme centre de condensation. L'appareil qui m'a servi se compose d'une cuve en verre renfermant trois plateaux métalliques parallèles et identiques A, B, C, séparés par des intervalles de 6 millimètres. On peut introduire dans cette cuve le gaz qui a passé sur le phosphore et observer le nuage qu'il contient en éclairant vivement le gaz par la lumière d'un arc électrique et observant sur fond noir. On constate ainsi que, quand les trois plateaux A, B, C sont au même potentiel, des traînées

blanchâtres apparaissent entre eux, manifestant la présence de poussières dans le gaz. Si, A et B restant au même potentiel, on établit entre B et C un champ électrique intense et *uniforme* avec une batterie de 300 accumulateurs, la traînée disparaît du côté où existe le champ, et de celui-là seulement. L'expérience réussit aussi bien, que le gaz soit bien sec ou ait barboté dans l'eau. Seulement, dans le second cas, le phénomène est plus facile à observer par suite de l'abondante condensation produite dans le gaz. Cette double expérience établit nettement les deux points énoncés plus haut, et elle est à rapprocher d'une expérience différentielle analogue par laquelle C.-T.-R. Wilson a montré la dissymétrie qui existe entre les ions ordinaires positifs et négatifs au point de vue de la condensation.

La conception à laquelle on est conduit est dès lors la suivante : les ions, formés au moment de l'oxydation du phosphore par un mécanisme inconnu, s'entourent d'une masse matérielle relativement considérable (bien plus forte que dans les cas d'ionisation ordinaires), qui les alourdit, leur donne une très faible mobilité et un très petit coefficient de recombinaison. De plus, elle les rend visibles dans la lumière d'un arc. En présence de vapeur d'eau, simplement saturante, probablement par suite d'un phénomène chimique [1], le centre chargé s'entoure d'une goutte d'eau, provoquant ainsi une condensation intense dans le gaz. Les deux phénomènes de faible mobilité et de facile condensation se trouvent ainsi réunis sur le même centre, quoiqu'ils paraissent dus à des phénomènes en quelque sorte indépendants.

Les cas d'ionisation exceptionnels et les gaz récemment préparés. — Ayant établi que les ions du phosphore étaient exceptionnels au double point de vue de la mobilité et de la condensation, on pouvait se demander si ce cas d'ionisation était absolument isolé, ou s'il existait des exemples analogues.

Or Townsend, qui, en 1898, a étudié les gaz préparés par voie électrolytique (H, O et Cl), a montré qu'ils étaient toujours chargés et que leur conductibilité, fort appréciable, était due à des ions très analogues aux précédents : ils ont une très faible mobilité, du même ordre que celle des ions au phosphore, et possèdent également la

[1] Il est naturel, pour le moment, d'admettre que la matière en question est constituée par des oxydes du phosphore, qui, avec l'humidité, donnent des acides solubles dans l'eau et abaissent sa tension de vapeur.

propriété de condenser la vapeur d'eau simplement saturante. Il n'y a aucun doute sur ces résultats, quoique l'élégante méthode par laquelle Townsend a réussi à mesurer les mobilités suppose essentiellement que le gaz ne renferme que des charges d'un seul signe, et ne donne par suite que des ordres de grandeur. Les ions contenus dans ces gaz paraissent donc se comporter en tout comme ceux du phosphore.

Lenard, dans l'étude de l'ionisation de l'air par l'ultra-violet extrême, Kœhler, dans l'étude de l'ionisation de l'air par une chute d'eau salée, ont signalé aussi des ions positifs très peu mobiles, leur mobilité étant encore du même ordre de grandeur que les précédents : dans le premier cas, la vapeur d'eau saturante produit également une condensation. Enfin Mac Clelland, qui a mesuré les mobilités des ions dans les gaz issus d'une flamme, a trouvé que la mobilité diminuait jusqu'à $0^{mm},4$ quand la température était ramenée à 150° ; il n'a pas pu malheureusement descendre jusqu'à la température ordinaire. Pour les gaz avoisinant un arc électrique ou un fil de platine incandescent, les résultats sont analogues.

Tous ces faits et surtout ceux qui ont été observés par Townsend semblent montrer que le cas du phosphore n'est pas entièrement isolé.

J'ai réussi à augmenter encore notablement le nombre de ces cas singuliers, en étudiant les gaz récemment préparés par voie chimique. Ces gaz sont en général conducteurs de l'électricité, et renferment le plus souvent un grand excès d'ions d'un certain signe; c'est ce qu'avaient déjà montré Enright et Townsend. Malgré l'irrégularité considérable des phénomènes, on peut arriver cependant à se faire une idée de la mobilité des ions dans ces gaz en se servant de la méthode de zéro indiquée ci-dessus et qui s'adapte tout spécialement à ces cas. On charge le tube C de la figure 3 à un potentiel fixe, on envoie dans le tube le gaz ionisé qui sort de l'appareil où on le prépare et on suit simultanément la marche de l'électromètre et du manomètre où on mesure la vitesse du gaz. On arrive ainsi aisément à connaître la vitesse du gaz au moment précis où l'équilibre électrométrique est atteint par suite du ralentissement progressif et spontané du courant gazeux. La mobilité se calcule dès lors par la formule déjà indiquée. L'hydrogène, l'oxygène et l'acide carbonique, préparés par divers moyens, ont été ainsi étudiés et m'ont conduit au résultat suivant : *Les mobilités*

des ions qu'ils renferment sont encore du même ordre de grandeur que celles des ions du phosphore.

Les phénomènes de condensation sont aussi les mêmes : la condensation de la vapeur d'eau se produit quand celle-ci est simplement saturante, et on peut démontrer, avec le même appareil que pour le phosphore, que les ions sont ici encore des espèces de poussières chargées, relativement très lourdes, sur lesquelles la vapeur irait se condenser probablement par suite d'un phénomène chimique. On s'explique ainsi, en particulier, l'apparition de nuages épais dans les flacons laveurs où on fait barboter en chimie certains gaz que l'on vient de préparer.

La cause de la conductibilité est encore plus obscure pour les gaz récemment préparés que pour le phosphore. On sait en effet que les gaz qui ont barboté sous forme de bulles très fines à travers un liquide sont assez fortement ionisés. Et on peut se demander, tout au moins dans le cas où le gaz est préparé au sein d'un milieu liquide, si c'est le barbotage qui joue le rôle essentiel ou bien si c'est l'action chimique. Les expériences faites dans cette voie n'ont pas encore donné de résultats certains. — On peut signaler aussi que dans plusieurs cas la charge du gaz produite au sein d'un liquide change de grandeur avec le temps, et peut même changer de sens. Il y a là tout un ensemble de phénomènes compliqués qui restent à débrouiller, et sur ce point je n'ai fait qu'indiquer les résultats fondamentaux.

Conclusion. — Bien que cette étude soit encore très sommaire, et que beaucoup de difficultés accessoires, qui se présentent inévitablement dans des phénomènes aussi complexes, n'aient pas encore été éclaircies, il y a lieu, à ce qu'il semble, d'admettre l'existence d'une classe nouvelle de gaz ionisés, dont feraient partie l'air ionisé par le phosphore et les gaz récemment préparés par voie chimique. Elle se caractérise par deux propriétés exceptionnelles : très faible mobilité des ions, condensation par les ions de la vapeur d'eau simplement saturante. Cette classe semble actuellement nettement séparée de la classe des ions ordinaires. On n'a pas jusqu'ici trouvé d'intermédiaires permettant de passer de l'une à l'autre d'une manière à peu près continue. Certaines raisons théoriques, qu'il serait trop long d'exposer ici, permettent même de croire que cette séparation en deux classes est fondée sur des causes profondes, et qu'il n'y a pas lieu d'espérer trouver dans l'avenir la transition qui manque dans le présent.

Nouvel étalon à acétylène ;

Par M. Ch. Féry [1]

L'expérience montre que l'acétylène brûle dans de bonnes conditions à l'extrémité d'un tube de verre capillaire.

Il est tout à fait nécessaire que le tube employé soit mauvais conducteur de la chaleur : la stéatite, le verre conviennent parfaitement ; au contraire, un tube métallique donne de mauvais résultats, car l'extrémité du tube restant froide, s'engorge rapidement par les produits liquides provenant de la polymérisation, ou résultant de la combustion même du carbure et qui s'y condensent.

Pour une même hauteur de flamme, l'intensité lumineuse croît moins vite que le diamètre du tube ; elle passe même par un maximum pour un certain diamètre ; voici les résultats obtenus avec quelques tubes servant à la fabrication des thermomètres :

Diamètre en millimètres	Intensité lumineuse pour une flamme de 24 millimètres de hauteur
0mm,45	9bougies,45
0 ,58	12 ,35
0 ,63	12 ,20
0 ,65	12 ,10

D'autre part, la flamme cylindrique obtenue dans ces conditions présente un maximum d'éclat sensiblement placé au 1/3 de sa hauteur et qui conserve cette position relative, même lorsqu'on produit des variations de hauteur assez grandes, ainsi qu'on peut s'en rendre compte sur les photographies ci-jointes (*fig.* 1), obtenues par l'emploi d'une plaque orthochromatique et d'une cuve ne laissant passer que les radiations lumineuses.

Cette précaution a pour but d'éviter la venue, sur le cliché, des régions bleues et peu visibles qui entourent la zone éclairante de la flamme.

En prenant comme unité l'éclat maximum, placé comme je viens de le dire au 1/3 de la hauteur de la flamme, voici quelles seraient les valeurs de l'éclat aux divers points d'une flamme de 22 millimètres de hauteur :

---

[1] Séance du 18 novembre 1904.

Distance à l'extrémité du bec	Éclat
0	0
2 millimètres	0,210
4	0,721
6	1,000
8	0,925
10	0,772
12	0,629
14	0,486
16	0,352
18	0,252
20	0,201

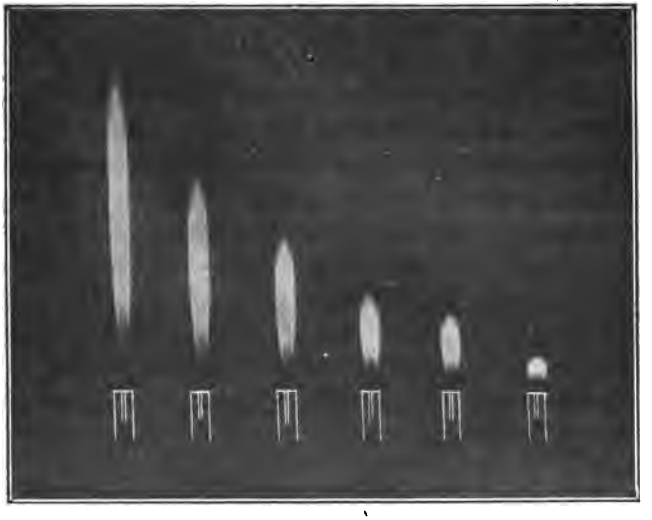


Fig. 1.

Il résulte de l'examen des photographies qui précèdent, qu'une variation donnée sur la hauteur de la flamme n'entraîne qu'une variation du tiers comme déplacement du maximum d'éclat.

Si donc nous limitons la flamme à la hauteur de son maximum d'éclat par un diaphragme en forme de fente découpée dans une plaque métallique, nous obtiendrons un brûleur dont l'intensité lumineuse derrière le diaphragme sera très peu affectée par les variations de hauteur de la flamme. Cette disposition, utilisée d'ailleurs déjà avec avantage en photométrie, est connue en Angleterre, sous le nom d'écran de Methwen.

Elle offre cependant un inconvénient : la distance entre la flamme et son écran régulateur ne pouvant pas être rendue nulle, l'éclairement produit par cet étalon sur une surface plane n'est pas uniforme, et le point recevant le maximum d'éclairement *se déplace avec la hauteur de la flamme.*

Il faut donc, avec ce dispositif, prendre des précautions relativement à la bonne orientation de l'appareil, et répérer avec soin la hauteur de la flamme.

Fig. 2.

Pour m'affranchir de ces précautions, qui rendent l'emploi de l'écran de Methwen quelque peu délicat, j'ai songé à diaphragmer non la flamme, mais son image donnée par une lentille portée par le plateau P (*fig.* 2) ; l'image se fait alors exactement sur un disque percé d'une ouverture rectangulaire et supporté au fond du tube T. Ce disque reçoit aussi l'image de l'extrémité du tube *t* par lequel brûle le gaz, et permet de mesurer facilement la hauteur du jet.

Pour terminer cette description, je dirai encore qu'une lentille est fixée derrière et contre l'écran porté par le tube T. Cette lentille a pour foyer la distance TP séparant la première lentille de l'écran ;

cette disposition optique a pour but d'éviter la pénombre qui entourerait le cône de rayons se croisant sur le diaphragme. En réalité la seconde lentille donne l'image de la première à l'infini, et l'axe du cône de rayon bien limité qu'on obtient ainsi est la droite qui passe par les centres optiques des deux verres.

Dans les modèles nouveaux, la flamme est entourée d'un tube en laiton assez large qui, en même temps qu'il évite les courants d'air, protège l'œil de l'opérateur contre l'action directe des rayons venant de la flamme.

Ainsi réalisé, l'appareil est très peu sensible aux variations de hauteur de la flamme, et par conséquent aux variations de pression du gaz ; voici les intensités en fonction de la hauteur de la flamme, en prenant comme unité l'intensité de l'étalon pour sa hauteur normale 25 millimètres.

Hauteur de la flamme (dont l'image est diaphragmée par un rectangle de 8 millimètres de hauteur)	Intensité
20 millimètres	0,970
22	0,995
24	1,000
26	1,000
28	1,000
30	0,980

Alimenté par une bombe d'acétylène dissous, ou par un petit gazomètre spécial de 20 litres, l'étalon fournira donc des résultats très constants, si on a soin de maintenir la hauteur de la flamme entre 22 et 28 millimètres. Le maximum, qui a lieu par une flamme de 26 millimètres, correspond évidemment au moment où le maximum d'éclat de l'image de la flamme tombe sur le diaphragme. La consommation d'acétylène étant de 7 litres à l'heure, l'étalon peut fonctionner 3 heures avec le gazomètre dont je viens de parler. L'intensité est de $0^{carcel},25$ mais en réalité, et étant donné la petitesse de la source lumineuse, on peut approcher l'étalon du photomètre à $0^{m},50$ et obtenir ainsi le carcel, tout en satisfaisant aux conditions photométriques (inverse du carré de la distance), qui ne sont vraies que lorsque les dimensions de la source sont très petites par rapport à la distance qui la sépare du photomètre.

Mesure des petits courants alternatifs de haute fréquence ;

Par M. W. Duddell [1].

A cause du grand développement qu'ont pris la télégraphie sans fil et la téléphonie à longue distance, il est devenu tout à fait indispensable de pouvoir mesurer les très petits courants alternatifs de haute fréquence.

On peut obtenir des électrodynamomètres et d'autres instruments électromagnétiques très sensibles, mais leur self-induction prend une si grande importance avec les courants à haute fréquence qu'elle empêche de les employer dans la plupart des cas. D'autre part, les instruments électrostatiques n'ont pas encore atteint une sensibilité suffisante. On est ainsi ramené à se servir des instruments thermiques. L'échauffement que produit un courant qui traverse un fil fin très résistant est la base de presque toutes les méthodes employées jusqu'à présent pour la mesure des courants à haute fréquence. Les deux appareils [2] que je vais décrire ne sont pas des exceptions.

En pratique, quatre des effets produits par l'échauffement du fil ont servi à mesurer les courants ; ce sont :

1° La dilatation linéaire du fil chauffé ;

2° La dilatation cubique d'un gaz ou d'un liquide qui entoure le fil chauffé ou qui est placé tout près de ce fil ;

3° La variation de la résistance ;

4° La force électromotrice engendrée dans un couple qui est formé par le fil parcouru par le courant à mesurer, ou dans un couple placé près du fil.

Le premier instrument que je vais décrire utilise la dilatation du fil ; il a été imaginé pour combiner une grande rapidité d'action avec une bonne sensibilité, afin que l'on puisse s'en servir comme voltmètre à lecture rapide. L'appareil consiste en un ampèremètre à ruban tordu de MM. Ayrton et Perry, mais il a été amélioré par l'addition d'un dispositif compensateur pour réduire le déplacement du zéro produit par la variation de la température ambiante.

Les parties essentielles de l'instrument sont indiquées sur la

---

(1) Séance du 16 décembre 1904.

(2) Les appareils sont construits par le « Cambridge Scientific Instrument C° ».

fig. 1 ; ABCD est le ruban tordu d'Ayrton-Perry, dont la moitié AB est tordue dans un sens et la moitié CD en sens inverse. Au centre du ruban sont collés un petit miroir M et une lame très mince de mica qui sert à l'amortissement. Le ruban est tendu dans un châssis dont les bouts sont formés par une pièce de laiton T_1 et une pièce d'ébonite E et les côtés par deux fils W, W. Ce châssis est aussi tendu au moyen du ressort spiral S fixé à la pièce d'ébonite E et à T_2.

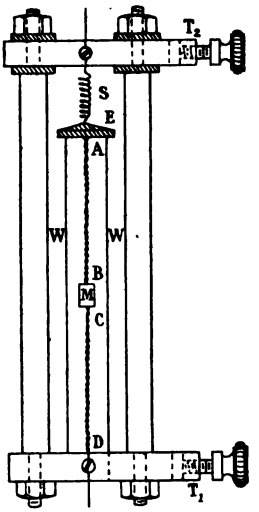


Fig. 1.

Le ruban tordu ABCD s'obtient en laminant un fil de platine-argent de $0^{mm},025$ de diamètre et les deux côtés W, W sont construits avec le même fil afin d'avoir le même coefficient de dilatation. Si les deux fils W, W et le ruban ABCD augmentent également de température, tout le châssis EWT, W s'allonge sans donner de rotation au miroir.

Si, au contraire, un courant passant de T_1 à T_2 traverse le ruban et l'échauffe, le ruban se dilate et se tord en tournant le miroir M. La propre période des oscillations du miroir est seulement 1/15 de seconde et, à cause de sa petitesse, le ruban s'échauffe et se refroidit très vite, ce qui fait que l'instrument peut indiquer des variations du courant qui se produisent même une ou deux fois par seconde.

Les données de l'instrument sont :

Résistance : 20 ohms ;

Intensité du courant qui donne 25 centimètres de déviation sur une échelle placée à 100 centimètres : 22×10^{-3} ampères ;

Différence de potentiel qui donne la même déviation : 0,44 volt.

Si l'on prend 1 centimètre comme la plus petite déviation mesurable et $0^{mm},1$ comme la plus petite déviation observable, on peut dire que :

La plus petite intensité qu'on peut mesurer est $4,4 \times 10^{-3}$ ampères ;
— — déceler est $0,5 \times 10^{-3}$ ampères.

Le montage de cet instrument est très facile ; il n'y a pas besoin de le régler avec soin, et l'instrument est assez robuste. Grâce au petit coefficient de température et à la self-induction pratiquement négligeable, on peut mesurer des différences de potentiel à partir de 0,1 volt et je l'ai employé en série avec une grande résistance pour faire des mesures jusqu'à 10000 volts. On peut aussi à l'aide des shunts évaluer des grands courants. L'instrument a le défaut d'être sensible aux vibrations dont la fréquence est voisine de 15 par seconde ; on le protège facilement en le posant sur un socle de métal très lourd suspendu au moyen de fils et de ressorts, comme dans l'appareil « Julius », qui sert à abriter les galvanomètres contre les vibrations.

En pratique, l'application la plus importante de l'instrument a été d'observer les variations rapides du voltage des usines génératrices produites par une irrégularité cyclique de la machine motrice ou par les oscillations pendulaires des alternateurs moteurs ou des commutatrices. Il est facile de faire des tracés photographiques dans lesquels une différence de 1 centimètre dans la déviation représente un changement de seulement 1 0/0 dans la différence de potentiel. Par ce procédé il est souvent possible d'approfondir la raison du mauvais fonctionnement des alternateurs en parallèle et de trouver quelle machine en est la cause.

Le deuxième instrument, que j'appelle un « thermogalvanomètre », est beaucoup plus sensible et plus délicat. Il consiste essentiellement en une résistance traversée par le courant à mesurer, placée très près du couple thermoélectrique d'un radiomicromètre de « Boys ». La *fig.* 2 est un diagramme de l'instrument, et la *fig.* 3 une vue d'ensemble.

Entre les pôles NS d'un aimant permanent est suspendue au

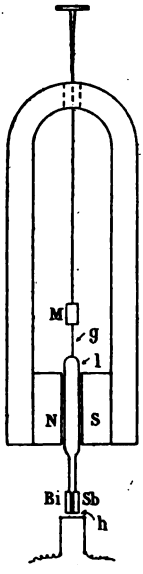


Fig. 2.

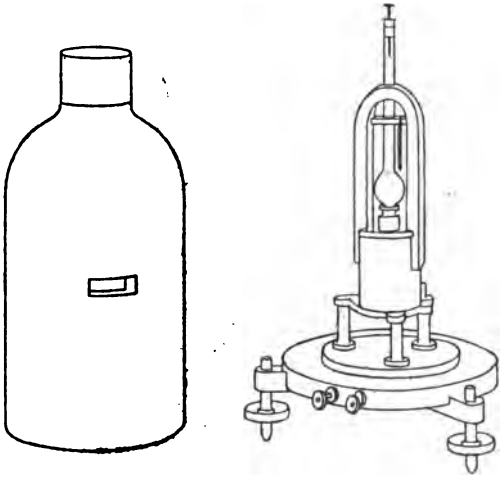


Fig. 3.

moyen d'un fil de quartz, une boucle de fil métallique, qui porte un couple thermoélectrique Bi Sb attaché à son extrémité inférieure.

Un mince tube en verre effilé est fixé à la boucle pour porter le miroir M.

En dessous du couple thermoélectrique est placée la résistance chauffante *h* dont une borne est reliée au corps de l'instrument pour éviter les forces électrostatiques. Le mode d'action de l'instrument est le suivant : Le courant à mesurer échauffe la résistance *h*, ce qui produit une différence de température entre les deux soudures du couple thermoélectrique. Un courant continu est engendré et circule dans la boucle, et celle-ci tourne dans le champ magnétique en tordant le fil de quartz.

Les déviations de l'instrument sont pratiquement proportionnelles au carré du courant qui traverse *h*, et la déviation atteint sa valeur finale à moins de $\frac{1}{500}$ au bout de dix secondes, ce qui fait que l'instrument indique, après dix secondes, le courant à 0,1 0/0 près.

La sensibilité absolue et relative dépend de la valeur et de la position de la résistance chauffante *h*. Il est évident que, si l'on désire mesurer une très petite intensité, il faut donner à *h* une résistance aussi grande que possible ; pour une petite différence de potentiel, *h* doit au contraire être petit. Il y a ainsi une meilleure résistance pour chaque emploi. Le tableau I montre que la puissance dissipée par *h* pour une déviation donnée ne dépend pas beaucoup de sa résistance.

Pour que la déviation atteigne très vite sa valeur finale, il faut que les dimensions de *h* soient aussi petites que possible. Pour cela la résistance *h* ,consiste en un simple morceau de fil droit d'une longueur de 3 à 4 millimètres. On fabrique facilement, en leur donnant cette longueur, des résistances de 5 ohms ou moins; jusqu'à 20 ou 25 ohms, je les ai faits en découpant des bandes minces dans des feuilles d'or ; pour des résistances plus grandes, j'ai employé du verre effilé recouvert d'une couche très mince de platine. De cette manière il est facile de fabriquer un fil long de 3 millimètres ayant une résistance de 1000 ohms et au delà. Ces résistances supportent sans danger assez de courant pour pouvoir être employées dans l'instrument. Comme exemple, une résistance de 2000 ohms n'a brûlé qu'avec 6 milliampères.

Les résultats des essais obtenus avec des résistances *h* de valeurs très différentes sont résumés dans la tableau I, qui ne nécessite pas d'explication.

TABLEAU I. — *L'échelle placée à 1000 mètres.*

Thermogalvanomètre avec résistance chauffante en	Résistance en ohms	Déviation de 250 millimètres		
		Intensité Microampères	Différence de potentiel Millivolts	Puissance Microwatts
Fil de « Kruppin »...	5,55	1470	8,2	12,0
Bande de feuille d'or.	18	800	14,4	11,5
Verre platiné.....	103	346	35,6	11,5
—	202,5	275	55,6	12,3
—	363	231	84	19,4
—	1071	121	130	15,7
—	3367	88	296	26,0
—	13910	31	431	13,9

Thermogalvanomètre avec résistance chauffante en	Résistance en ohms	La plus petite déviation mesurable soit 10 millimètres		
		Intensité Microampères	Différence de potentiel Millivolts	Puissance Microwatts
Fil de « Kruppin »...	5,55	294	1,64	0,48
Bande de feuille d'or.	18	160	2,9	0,46
Verre platiné.....	103	69	7,1	0,49
—	202,5	55	11,1	0,61
—	363	46	16,7	0,77
—	1971	24	26,0	0,62
—	3367	17,6	59	1,04
—	13910	6,2	86	0,53

Les applications pratiques de l'appareil sont assez variées à cause de sa grande sensibilité jointe à sa self-induction et à sa capacité très minimes. On peut l'employer pour mesurer les courants téléphoniques, ce qui a une grande importance en ce moment, puisqu'il y a tant de questions à résoudre dans le problème de l'emploi des bobines d'inductance le long des lignes téléphoniques. On peut citer comme exemple de la sensibilité de l'instrument ce fait qu'on obtient en sifflant dans un récepteur téléphonique type « Bell » assez de courant pour donner une déviation de quelques centaines de millimètres, et qu'avec un transmetteur microphonique ordinaire on obtient une déviation considérable, même quand on se place à 4 ou 5 mètres du transmetteur. Il me paraît aussi que, dans certaines conditions, il remplacerait avec avantage le téléphone dans la mesure des conductibilités des liquides par la méthode « Kohlrausch ».

C'est surtout aux expériences de télégraphie sans fil que l'instrument convient le mieux. Le Bureau des Postes anglaises et l'auteur ont

en train une longue série d'essais sur ce sujet ; comme ces essais ne sont pas encore terminés, je ne puis pas entrer dans des détails. Les expériences ont porté sur la valeur du courant dans l'antenne réceptrice quand on a fait varier la hauteur des antennes, la distance entre les deux stations, la prise de terre, etc...

Il m'est bien difficile de comparer la sensibilité du thermogalvanomètre avec celle du bolomètre que M. le lieutenant Tissot a employé dans ses expériences très intéressantes « sur la valeur de l'énergie mise en jeu dans une antenne réceptrice à différentes distances ». Mais, en me servant d'un fil de platine de 6 μ de diamètre, j'ai trouvé la sensibilité plus grande avec le fil dans le thermogalvanomètre qu'avec le même fil comme bolomètre dans un pont de Wheatstone, à moins d'employer dans le pont un galvanomètre de la plus haute sensibilité possible, ce qui rend le réglage du pont extrêmement ardu et délicat. M. Tissot a remarqué que la résonance est très bien mise en évidence par le bolomètre ; cette remarque s'applique tout aussi bien au thermogalvanomètre, si l'on emploie des oscillations peu amorties et si la résistance chauffante est petite, la résonance se montre extrêmement nette et même intense.

J'ai fait construire des voltmètres et ampèremètres pour la technique courante : basés sur le même principe que le thermogalvanomètre des instruments à pivots, ils donnent de très bons résultats et j'espère les décrire prochainement.

En terminant cette note, je voudrais remercier la Société française de Physique du très grand honneur qu'elle m'a fait en me permettant de lui présenter ces appareils.

RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS

FAITES PENDANT L'ANNÉE 1904.

SÉANCE DU 15 JANVIER 1904.

PRÉSIDENCE DE M. C.-M. GARIEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 18 décembre 1903 est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

R.-P. CIRERA, ancien Chef du Service magnétique à l'observatoire de Manille ; Directeur-fondateur de l'observatoire de l'Ebre.

M. LE PRÉSIDENT constate la présence, en séance, de plus de cinquante membres de la Société. Il met ensuite aux voix la proposition suivante :
L'article 22 du Règlement intérieur sera modifié ainsi qu'il suit :

ART. 22. — *Procès-verbal est dressé des résolutions prises par le Conseil, il est transcrit sur un registre spécial et signé par le président de la réunion et par le secrétaire général.*

Cette proposition est adoptée à l'unanimité.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que le rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice 1902-1903 a été adressé à tous les membres de la Société; il demande s'il y a quelques objections à faire à ce rapport. Aucune observation n'étant présentée, le rapport de la Commission des Comptes est mis aux voix et adopté.

M. LE PRÉSIDENT déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Vice-Secrétaire et pour le renouvellement du Conseil.

M. LE PRÉSIDENT proclame le résultat du vote. Sont élus :

Vice-Président : M. H. DUFET, Maître de Conférences à l'Ecole normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis.
Vice-Secrétaire : M. LANGEVIN, Professeur-adjoint au Collège de France.

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années (1903-1905) :

Membres résidants :

Mme Curie, Professeur à l'Ecole normale supérieure d'enseignement secondaire pour les jeunes filles.
MM. Hamy, Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris.
Marage, Docteur ès sciences.
Perrin, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris.

Membres non résidants :

MM. Blaserna, Sénateur, Professeur à l'Université de Rome (Italie).
Maurain, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes.
Miculescu, Professeur à l'Université de Bucarest (Roumanie).
Tissot, Lieutenant de vaisseau, Professeur à l'Ecole navale, à Brest.

M. C.-M. Gariel, Président sortant, prononce l'allocution suivante :

« Messieurs et chers Collègues,

» Le Rapport de la Commission des Comptes qui vous a été distribué établit le compte financier de la Société française de Physique; il est d'usage que, d'autre part, le Président sortant présente en quelque sorte le compte moral, en faisant l'historique de la Société pendant l'année qui s'est écoulée. En me conformant à cet usage, je remplirai le dernier acte de ma présidence; aussi, pour ne pas vous laisser en partant un mauvais souvenir de celle-ci, je m'efforcerai d'être aussi bref que possible.

» Nous avons terminé heureusement l'année 1903; dans l'avant-dernière séance, nous avons eu l'occasion d'adresser nos vives félicitations à M. et Mme Curie, à qui la Société Royale de Londres venait de décerner la médaille Davy : puis nous avons appris que le grand prix Nobel pour la Physique était attribué à M. Becquerel, à M. et à Mme Curie. Les membres de la Société de Physique n'avaient pas attendu cette consécration donnée aux remarquables travaux de nos collègues pour en apprécier la valeur; mais ces travaux étaient ignorés du public qui, maintenant, sans bien les comprendre, sait au moins qu'ils existent. Décernée par des étrangers, cette haute distinction témoigne de l'estime dans laquelle la Science française est tenue et nous devons remercier nos collègues d'avoir été la cause de cette honorable manifestation.

» Dans la vie des sociétés comme dans celle des individus, les deuils se mêlent aux joies; nous avons été grandement éprouvés cette année. Parmi nos collègues disparus, je vous citerai : M. P. Didier, Examinateur d'admission à l'Ecole spéciale militaire; M. D. Latchinoff, Professeur à l'Institut du Corps forestier de Saint-Pétersbourg; sir Gabriel Stokes, Professeur à l'Université de Cambridge; M. E. Baudot, Ingénieur des Télégraphes; M. Casalonga, Ingénieur civil; M. J. Velter, Ingénieur des Arts et Manufactures; M. Godart, Professeur de Physique au Collège de Compiègne.

» J'ai détaché de cette liste obituaire déjà trop longue un nom sur lequel je vais demander la permission de m'arrêter quelques instants. C'est celui de M. Félix Worms de Romilly, ancien Président de la Société de Physique. Son souvenir doit nous être cher, car c'était un ami dévoué de notre Société, aux séances de laquelle il prenait une part active; nous pouvons parler maintenant, sans blesser sa modestie, des nombreux dons qu'il nous a faits sous le couvert de l'anonyme et qui, tantôt nous ont aidés à sortir de quelques embarras financiers, et tantôt nous ont permis de publier des volumes intéressants que nos ressources régulières ne nous

permettaient pas de faire imprimer. M. de Romilly n'a pas voulu que sa mort privât la Société de Physique des ressources périodiques qu'il se plaisait à lui assurer et il lui a légué, avec sa bibliothèque et ses instruments de physique, une somme de cent cinquante mille francs; par arrêté en date du 16 novembre 1903, la Société a été autorisée à accepter ce legs.

» Les années s'écouleront et peu à peu disparaîtront ceux qui avaient connu M. de Romilly et qui en conservaient le souvenir; mais, par ce généreux don qui accroît notablement le capital de la Société et augmente ses ressources, la mémoire de ce bienfaiteur restera vivace parmi les générations qui nous succéderont.

» La Société de Physique continue à s'accroître; le nombre des admissions a dépassé de 24 celui des décédés et des démissionnaires; actuellement la Société compte 992 membres.

» Ne nous lassons pas cependant de faire une active propagande et d'assurer un recrutement continu: nous n'avons pas encore sur nos listes tous les noms qui pourraient s'y trouver; et, d'ailleurs, ne faut-il pas se préparer à combler les vides que, malheureusement, le temps ne peut manquer d'amener parmi nous.

» Vous avez vu, Messieurs, que notre état financier est très satisfaisant et il me paraît inutile de redire les chiffres que vous avez lus. La situation est plus satisfaisante encore qu'il ne paraît, puisque notre capital s'est accru du legs fait par M. de Romilly et qui ne figure pas encore dans les comptes du Trésorier que nous ne saurions trop remercier pour le zèle et le dévouement avec lequel il gère notre fortune.

» Permettez-moi de remercier en même temps la Commission des Comptes, qui, après une étude attentive, a résumé ses conclusions en un Rapport bref et précis.

» Parmi les recettes énumérées dans ce Rapport, il en est deux que je dois signaler spécialement : ce sont les dons faits par M. Guébhard, qui ne se lasse pas de témoigner ainsi chaque année de l'intérêt qu'il porte à la Société, et par M. Nogué; en votre nom, j'adresse à ces donateurs nos remercîments les plus vifs.

» Je ne pense pas qu'il y ait lieu de passer en revue, même sommairement, les travaux qui ont été présentés à la Société et qui témoignent de son activité scientifique : ce serait répéter, moins complètement et moins bien, ce qui est dit dans les procès-verbaux qui renseignent très exactement sur ce qui est dit et fait dans nos séances. En les parcourant, ou mieux, en les lisant, on reconnaît aisément que nombre de questions intéressantes ont été présentées et discutées.

» J'ajouterai que l'Exposition de Pâques a pleinement réussi; elle a constitué, comme elle le fait chaque année, un événement scientifique important, dont l'intérêt s'est accru par les conférences et la visite qui l'ont accompagnée. Je suis heureux de renouveler ici aux exposants, aux conférenciers et à MM. de Dion et Bouton, les remercîments que je leur ai déjà adressés au nom de la Société de Physique lorsque j'ai rendu compte de l'Exposition; j'y ajouterai des remercîments pour M. Sandoz qui, à cette occasion et suivant son habitude, a redoublé de dévouement.

» Enfin, je ne puis terminer sans signaler la publication du *Recueil d'Expériences élémentaires de Physique* par notre Secrétaire général, M. Abraham, auquel, comme vous le savez, la Société s'était intéressée et qui, nous en sommes convaincus, est appelé à rendre de réels services. »

« Messieurs et Chers Collègues,

» Avant de quitter le fauteuil de la présidence auquel vous m'avez fait le grand honneur de m'appeler, ce dont je vous suis profondément recon-

naissant, je vous remercie de m'avoir grandement facilité ma tâche par l'aménité des relations et la courtoisie des discussions. Aidé dans ses fonctions par les membres du Bureau, le Président est un roi paresseux : il a tous les honneurs de la charge sans en avoir les tracas. Aussi serait-ce faire preuve d'une grande ingratitude que de ne pas citer avec des remercîments particuliers le dévoué Secrétaire général, M. Abraham.

» Il ne me reste plus, après vous avoir encore une fois exprimé toute ma gratitude, qu'à céder le fauteuil au nouveau président, M. d'Arsonval. »

Sur l'effet enregistré par le détecteur magnétique;

Par M. C. Tissot.

A la suite d'une série d'expériences exécutées avec le dispositif de Rutherford et le détecteur magnétique à champ variable, nous avions été amené à conclure (1) :

1° Que c'est l'hystérésis ordinaire qui est affectée par l'action de l'onde;

2° Que l'appareil est sensible à l'*intensité maxima*.

Le premier point se trouve confirmé par la récente étude méthodique que M. Maurain a faite du phénomène.

L'emploi du bolomètre nous a permis d'établir nettement la seconde proposition en opérant sur des systèmes placés à distance (plusieurs kilomètres), par la comparaison des effets obtenus en faisant agir sur le détecteur magnétique des émissions de même période et d'amortissements différents.

Il est possible de satisfaire à ces conditions d'une manière très simple en se servant à la transmission, d'une part du système direct, d'autre part d'un système indirect à circuit de décharge indépendant.

Le bolomètre permet de se placer dans les conditions de résonance, et par suite de réaliser aisément des systèmes directs ou indirects de période identique.

Si l'on produit des émissions directes avec une antenne de forme et de longueur invariables, et que l'on fasse varier progressivement la longueur de l'antenne réceptrice, on obtient un maximum très net dans les indications du bolomètre pour une valeur déterminée de la longueur de l'antenne de réception.

En particulier, lorsque les antennes en présence sont identiques (antennes simples quasi-verticales, par exemple), le maximum des indications du bolomètre se produit quand les antennes d'émission et de réception sont égales.

Pour réaliser un système indirect qui fournisse des oscillations de même période, on conserve des antennes identiques à l'émission et à la réception, et l'on excite l'antenne d'émission par un dispositif Blondlot.

En faisant varier progressivement la capacité du circuit de décharge, ou circuit primaire de l'excitateur, on obtient un maximum extrêmement marqué dans les indications du bolomètre pour une valeur déterminée de la capacité (2).

---

(1) *Société de Physique*, 20 février 1903.

(2) Dans le cas présent, les antennes d'émission et de réception étaient simples et avaient 40^{m} de longueur. Avec un cadre carré de 35^{cm}, on obtenait :

Capacité.....	1	1,4	1,3	2,2	2,6	3
Déviation.....	10	17	42	75	51	26

La résonance se produisait pour la valeur 2,2 de la capacité.

Les systèmes direct A et indirect B, ainsi déterminés, donnent vraisemblablement des émissions de même période.

La comparaison des effets produits sur le détecteur magnétique a été faite de deux manières différentes :

1° A égalité de wattage au primaire d'excitation.

On obtenait au bolomètre :

Pour les émissions directes A... déviation $\delta = 55$ divisions
Pour les émissions indirectes B. déviation $\delta = 80$ divisions

Les émissions A donnaient des signaux très intenses au téléphone du détecteur magnétique. La lecture en était aussi facile que si l'on avait entendu l'étincelle même éclater dans la pièce voisine.

Les émissions B donnaient des signaux lisibles, mais faibles (comparables à ceux que l'on obtient à une trentaine de milles de distance).

2° A égalité d'énergie reçue par l'antenne, c'est-à-dire pour des indications identiques du bolomètre.

Pour obtenir des indications identiques au bolomètre avec les systèmes d'émission utilisés, on réduisait progressivement le wattage d'excitation (en même temps que la longueur de l'étincelle) pour le système indirect.

On obtenait alors :

Pour les émissions directes A... déviation $\delta = 55$ divisions
Pour les émissions indirectes B. déviation $\delta = 55$ divisions

Les émissions A donnant des signaux très intenses, les émissions B ne donnaient plus que des signaux extrêmement faibles et *à peine* lisibles.

Comme les émissions directes A sont beaucoup plus amorties que les émissions indirectes B, l'expérience paraît établir, au moins d'une manière qualitative, que le détecteur magnétique est sensible au *maximum de l'intensité*.

Les résultats d'observations exposés dans un précédent travail (1) nous avaient amenés à admettre que le cohéreur est sensible à la *force électromotrice maxima*. Les considérations suivantes justifient cette manière de voir.

On sait que si l'on intercale à la réception un petit transformateur sans fer de dimensions convenables (jigger de M. Marconi), on améliore notablement les résultats de la réception sur cohéreur.

Si l'on dispose le bolomètre sur le secondaire de ce transformateur à la place du cohéreur, on obtient des déviations beaucoup plus faibles que lorsque le bolomètre est intercalé directement dans le circuit. Le *jigger* agit donc bien en produisant une élévation de tension. Or l'effet exercé sur le détecteur magnétique est de beaucoup réduit quand on intercale le détecteur sur le secondaire du jigger.

La mission géodésique française à l'Équateur. — Influence de cette mesure sur l'étude de la Physique du globe. — Premiers résultats, par M. le Cᵗ Bourgeois.

La France a entrepris depuis 1901, et à la suite du vœu de l'Association géodésique internationale émis à la Conférence de Stuttgart en 1898, une nouvelle mesure d'un arc équatorial de 6° d'amplitude, dans la région des Andes où ont opéré au XVIIIᵉ siècle les académiciens Bouguer, La Condamine et Godin.

---

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 23 novembre 1903.

Cet arc équatorial doit entrer en comparaison avec l'arc polaire, qu'une mission russo-suédoise vient tout récemment de mesurer au Spitzberg, et avec tous les arcs méridiens mesurés sous les latitudes moyennes depuis une cinquantaine d'années, en particulier avec la nouvelle méridienne de France, pour concourir à une nouvelle détermination des éléments de l'ellipsoïde terrestre.

La mission, dont les travaux sont placés sous la haute direction scientifique de l'Académie des Sciences, comprend cinq officiers géodésiens et quinze sous-officiers et hommes de troupes.

Les travaux essentiels comportent les mesures de la base fondamentale et des bases de vérification, celles des latitudes aux deux extrémités de l'arc, celle de l'azimut de l'un des côtés, un nivellement géométrique allant de la base à la mer, et la mesure des angles des triangles.

On a étendu ce programme afin de donner à l'opération un caractère scientifique élevé et l'on y a ajouté une étude complète des déviations de la verticale, ainsi que des mesures d'intensité de la pesanteur, de façon à pouvoir déterminer la forme du géoïde dans la région des opérations. Il importe, en effet, de s'assurer que l'arc mesuré ne se trouve pas dans des conditions toutes particulières, sur une bosse locale du géoïde où la courbure aurait une valeur anormale, chose qui peut être à craindre en raison des attractions imprévues que pourrait produire la masse considérable des Andes.

L'année 1901 a été consacrée aux opérations fondamentales : mesure de la base centrale à Riobamba, des latitudes des extrémités de l'arc, de l'azimut fondamental et à la détermination de l'intensité de la pesanteur à la station centrale. En même temps on procédait à la construction de signaux entre Riobamba et l'extrémité nord. On a procédé, pendant les années 1902 et 1903, à toutes les mesures géodésiques et astronomiques relatives à ce tronçon, et l'on a pu entamer le tronçon sud, de Riobamba à Payta, en novembre 1903 ; les années 1904 et 1905 y seront employées.

Actuellement, on est déjà en possession des résultats de la mesure de la base fondamentale, ainsi que de ceux de quelques stations magnétiques et de la valeur de l'intensité de la pesanteur à Riobamba.

Les résultats des mesures de bases donnent lieu à des conclusions intéressantes au point de vue de la métrologie.

La base fondamentale a été partagée en deux segments, et le segment sud a été mesuré deux fois ; la comparaison des deux mesures, en se servant de l'étalonnage de 1901, donne :

Première mesure.....	$3359^{M},965\,162^{\mu},4$
Deuxième mesure.....	$3359^{M},958\,320^{\mu},9$
Différence.....	$6641^{\mu},5$

soit $\frac{1}{506000}$ de la longueur du segment.

La valeur adoptée pour la base totale, mesurée à l'appareil bimétallique, est :

$$9380^{M},758\,868^{\mu},$$

sauf très légère modification à la suite du nouvel étalonnage qui vient d'être fait à Breteuil après le retour de la règle à Paris.

La mesure a été faite, en outre, deux fois encore au moyen de l'appareil Jäderin. On s'est servi de deux fils, l'un A_2 en métal invar, l'autre B_1 en laiton ; chaque partie était mesurée d'abord avec le fil A_2, puis avec le fil B_1, en prenant les températures au thermomètre-fronde. La réduction pouvait donc se faire de trois façons indépendantes : avec chacun des fils considéré comme unique, en faisant les corrections relatives à la tempéra-

ture au moyen des données du thermomètre, ou en employant l'ensemble de A_2 et B_1 comme un appareil bimétallique donnant lui-même la température. On n'a pas retenu, d'ailleurs, les nombres obtenus par cette dernière méthode, évidemment beaucoup moins précise à cause de la faible dilatation de l'acier au nickel.

La première méthode a donné :

Par le fil A_2..... $9380^{M},755\ 32$
Par le fil B_1..... $9380^{M},741\ 42$

Les différences avec la mesure à la règle bimétallique ont été :

Pour le fil A_2..... $-\ 3^{mm},5$ ou $\frac{1}{3200000}$
Pour le fil B_1..... $-\ 17^{mm},4$ ou $\frac{1}{500000}$

Le résultat trop faible obtenu avec le fil B_1 semble tenir à ce que le laiton reste constamment au-dessous de la température ambiante, de sorte qu'en se fondant sur le thermomètre-fronde on fait une correction trop forte.

Les résultats ci-dessus montrent nettement les avantages que l'on retirera de l'emploi des fils en métal invar Guillaume dans la mesure des bases.

La mesure d'intensité de la pesanteur à Riobamba présente un intérêt particulier.

Toutes réductions faites, la valeur de g à Riobamba (altitude, 3000^{m} environ) est de

$$g^{R}_{3000} = 9,774\ 15;$$

réduite au niveau de la mer au moyen de la formule de Bouguer

$$g_0 = g\left(1 + \frac{2h}{R} - \frac{3}{2}\frac{\delta}{D}\frac{h}{R}\right),$$

c'est-à-dire en tenant compte de l'attraction de la masse de terrain comprise entre la station et la surface du niveau zéro, elle devient

$$g^{R}_{0} = 9,774\ 15 + 6\ 16 = 9,780\ 31,$$

et réduite au niveau de la mer en ne tenant compte que de l'altitude et en supprimant le second terme, ainsi que le demandent certains géodésiens, elle prend la valeur

$$\gamma^{R}_{0} = 9,774\ 15 + 9\ 20 = 9,783\ 35.$$

Or la formule de M. Helmert de 1901 donne comme valeur calculée, pour la latitude de la station de Riobamba (1°40′ Sud),

$$g = 9,780\ 47,$$

valeur qui s'accorde tout à fait avec les observations, réduites au moyen de la formule de Bouguer, tandis que le résultat obtenu en ne tenant compte que l'altitude présente un excès de 288 unités du 5e ordre, tout à fait inexplicable et anormal.

Il semblerait donc, du moins d'après cette première valeur, que les compensations mises en évidence dans la chaîne de l'Himalaya ne se produiraient pas dans la Cordillère des Andes.

SÉANCE DU 5 FÉVRIER 1904.

PRÉSIDENCE DE M. D'ARSONVAL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 15 janvier est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. GALY, Professeur au Lycée de Brest.
VARRET (R.), Ingénieur-Electricien, à Paris.

En prenant place au fauteuil de la Présidence, M. D'ARSONVAL remercie en ces termes la Société :

MES CHERS COLLÈGUES,

Je suis quelque peu étonné de prendre possession du fauteuil de la présidence. Si je vous manifeste ma surprise, c'est pour vous dire qu'elle décuple le prix que j'attache à l'honneur que vous m'avez fait. Je ne saurais avoir la prétention de justifier votre choix, mais je voudrais tout au moins l'excuser. Mon seul titre à votre indulgence est d'être un représentant de la Physique biologique dans la chaire de médecine du Collège de France.

Si mon éminent prédécesseur, M. Gariel, a pu invoquer cette raison, c'était de sa part pure modestie, car, par ses antécédents, ses fonctions et ses travaux, il a toujours été des vôtres. J'estime qu'en me nommant vous avez voulu accentuer votre démonstration et classer définitivement la Physique biologique au nombre des sciences expérimentales exactes. Je vous prie, mes chers Collègues, d'accepter, à ce double titre, l'expression de ma vive gratitude.

M. DUFET, élu Vice-Président; M. LANGEVIN, élu Vice-Secrétaire; Mme CURIE; MM. BLASERNA, HAMY, MARAGE, MAURAIN, MICULESCU, PERRIN et TISSOT, élus Membres du Conseil, adressent leurs remercîments à la Société.

Sur l'ionisation par le phosphore, par M. Eugène BLOCH. — Dans une Communication antérieure (février 1903), l'auteur a montré que la conductibilité électrique de l'air sec qui a passé sur du phosphore est due à des ions de très faible mobilité, capables de condenser la vapeur d'eau simplement saturante ; ces ions sont de véritables poussières chargées, visibles dans une lumière suffisamment intense.

On peut se proposer de poursuivre l'étude de l'émanation du phosphore en déterminant le *coefficient de recombinaison* α des ions. Celui-ci est lié par l'équation

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p_0} = \alpha T$$

aux densités des charges (positives) p_0 et p aux époques o et T. La mesure des densités p_0 et p peut se faire par la méthode directe que M. Townsend

a employée dans le cas des rayons de Röntgen et qui est une méthode de courant gazeux. Le résultat est le suivant : le coefficient de recombinaison varie entre 2 et 6, alors que, pour le cas des rayons de Röntgen, le nombre le plus probable est 3400. Il y a donc un écart du même ordre entre les coefficients de recombinaison qu'entre les mobilités. Il faut même remarquer que les nombres obtenus sont encore deux ou trois fois trop grands, par suite de l'existence dans le gaz de poussières très nombreuses, dont la présence est inévitable et vers lesquelles les ions peuvent se diffuser, ce qui accroît en apparence la recombinaison.

On peut aussi mesurer, dans le cas de l'émanation du phosphore, le rapport $\varepsilon = \frac{\alpha}{4\pi(k_1 + k_2)}$ (dans lequel k_1 et k_2 désignent les mobilités des ions des deux signes). Ce rapport a été introduit dans l'étude des gaz ionisés par M. Langevin, qui en a montré la signification théorique et a donné une méthode expérimentale pour le mesurer directement dans le cas des rayons de Röntgen. Le nombre ε représente le rapport du nombre de recombinaisons au nombre total des collisions entre ions de signes contraires. Dans le cas des ions très peu mobiles du phosphore, il devra donc être égal à 1, à moins que la perte de conductibilité du gaz ne se fasse par un autre mécanisme que la recombinaison seule (par exemple par les poussières), auquel cas le nombre ε pourra être notablement plus grand que l'unité. — La méthode de mesure de M. Langevin, applicable seulement au cas d'un gaz en repos, ionisé par une seule décharge d'un tube de Crookes, peut être modifiée très simplement de manière à devenir une méthode de courant gazeux applicable au cas du phosphore. Elle fournit des valeurs de ε comprises entre 3 et 6, conformes, par conséquent, à la théorie, si l'on tient compte de ce qui a été dit à propos du coefficient de recombinaison sur le rôle de la diffusion vers les poussières.

L'ensemble de ces résultats et de ceux de la précédente Communication paraît résoudre, au moins qualitativement, la question si controversée de la conductibilité de l'air qui a passé sur le phosphore; en particulier, l'hypothèse de l'ionisation paraît pleinement confirmée et les anomalies apparentes ne tiennent qu'à la masse exceptionnelle des ions.

Au cours de toutes ces expériences, on a eu besoin, à tout instant, de connaître en valeur absolue la vitesse d'un courant d'air, et surtout de vérifier sa constance. On y parvient très simplement en envoyant le gaz à travers un tube de verre de 3^{mm} de diamètre et de 20^{cm} de long, entre les extrémités duquel on a établi une dérivation de même diamètre contenant une bulle de xylol et fonctionnant comme un manomètre sensible (du type Töpler). En vertu de la viscosité du gaz, l'écoulement de celui-ci dans le tube principal entraîne une différence de pression entre les extrémités et les déviations de la bulle de xylol sont proportionnelles à cette différence de pression et, par suite, au débit (loi de Poiseuille). En suivant les déplacements de la bulle avec un viseur monté sur le chariot d'une machine à diviser, on a, après un étalonnage évident, un moyen simple de connaître à chaque instant la vitesse du gaz.

Décroissance de température dans la verticale, zone isotherme, par M. L. Teisserenc de Bort. — Les sondages atmosphériques par ballons sondes exécutés à l'observatoire de Météorologie dynamique depuis cinq ans, dans tous les mois et par toutes les situations atmosphériques, permettent de déterminer quelle est la décroissance de température suivant la verticale dans nos régions en différentes saisons.

Tous ces lancers ont été faits à des heures où l'influence directe de l'insolation sur les thermomètres ne peut fausser les résultats, généralement les ballons sont partis 2 heures avant le lever du soleil.

Les calculs portent sur 581 ballons, divisés en deux groupes, l'un con-

tenant les résultats de tous les ballons, l'autre formé seulement des 141 ascensions qui ont atteint l'altitude de 14^{km}. Ces deux séries donnent du reste pour les altitudes communes des résultats analogues.

L'une et l'autre montrent la variation très marquée de la température avec la saison; cette variation, qui est d'environ 14° près du sol, est encore d'au moins 10° à 10^{km} et supérieure à 9° vers 13^{km}.

La décroissance moyenne de la température dans les deux premiers kilomètres est de 0°,23 en décembre et de 0°,42 en mai; elle est affaiblie dans une notable proportion par les inversions de température qui sont très fréquentes à ces altitudes; puis la décroissance augmente à mesure que la vapeur d'eau devient moins abondante et atteint son maximum vers 9^{km} où elle est d'environ 0°,83 en été, se rapprochant ainsi beaucoup de la décroissance adiabatique. Comme la sécheresse va toujours en augmentant, on devait s'attendre à ce que la décroissance reste très forte, mais contrairement à tout ce qu'on pouvait supposer, à une altitude plus grande, la température cesse de décroître, on entre dans une zone d'une épaisseur inconnue mais qui atteint au moins 6^{km} dans laquelle la température reste à peu près stationnaire et présente même une augmentation qui parfois est de 5° à 6°.

Sur les courbes qui représentent la température moyenne en décembre cette zone est très marquée; on la retrouve d'ailleurs en toute saison.

Cette zone, que l'auteur a désignée sous le nom de *zone isotherme,* se rencontre à des altitudes très variables, suivant la situation atmosphérique. Avec les basses pressions, surtout au nord-ouest du centre du tourbillon, on entre dans la zone isotherme à 8^{km} (comme le montrent les courbes des 24 mars 1899, 15 décembre 1899, et d'autres qui sont présentées à la Société); dans les aires de forte pression, surtout au sud-ouest d'une dépression, la zone isotherme se rencontre seulement à 12^{km} ou 13^{km}. La température est ordi- nairement distribuée ainsi dans le minimum et le maximum barométrique.

Près du sol, il fait souvent plus chaud dans le minimum, mais en s'élevant on trouve une température beaucoup plus froide que dans le maximum de pression, et la différence va en s'accentuant; vers 8^{km} à 9^{km}, la température cesse de diminuer, pendant qu'elle continue à s'abaisser avec la hauteur dans le maximum au-dessus des basses pressions. Il en résulte que plus haut il fait sensiblement plus froid dans les aires de fortes pressions qu'au-dessus des dépressions. M. Teisserenc de Bort fait allusion à ce fait dans sa première Communication à la Société de Physique; depuis, il y a eu des exemples frappants, comme par exemple une température de — 72° au-dessus du maximum de pression, et seulement de — 55° au-dessus des basses pressions dans la même saison.

La cause de l'arrêt dans le décroissement de la température est fort obscure. On peut l'attribuer à l'existence d'un courant général plus chaud, comme M. Assmann, le célèbre météorologiste allemand, l'a indiqué. Mais il y a quelques objections sérieuses à cette explication. M. Teisserenc de Bort serait tenté de rapporter l'existence de cette zone à la cessation, à une certaine hauteur, des mouvements à composante verticale marquée. En sorte qu'en l'absence de variations thermiques par détente nous verrions se reproduire en haut un régime à couches chaudes et froides superposées comme celui des inversions qu'on observe couramment dans les parties basses.

Quoi qu'il en soit, les sondages prouvent d'une façon positive que dans nos régions, en toute saison, il y a une altitude, variable avec la situation atmosphérique, à laquelle la température cesse de décroître.

M. Ch. Nordmann signale, parmi les questions de Physique terrestre dont la solution est susceptible d'être abordée, grâce aux résultats de M. Teisserenc de Bort, celle des propriétés magnétiques de l'atmosphère

et de leur influence possible sur la période diurne de l'aiguille aimantée. Partant de sa découverte des propriétés magnétiques de l'oxygène, Faraday pensait que la diminution de la perméabilité magnétique de l'air produite par le rayonnement du Soleil aux divers points de l'atmosphère qui l'ont successivement à leur zénith, doit produire une déviation des lignes de force du champ magnétique terrestre et une variation corrélative dans la position de l'aiguille aimantée. Faraday a montré dans ses Mémoires sur ce sujet que cette théorie explique bien, en phase et en direction, c'est-à-dire *qualitativement*, les particularités de la période diurne de l'aiguille aimantée aux divers points du globe.

L'auteur a entrepris de soumettre cette théorie à un criterium quantitatif et de rechercher notamment si, comme le pensait Faraday, les propriétés magnétiques de l'air augmentent avec la hauteur.

La formule de Curie $K = \frac{BP}{\theta^2}$ lie la susceptibilité magnétique de l'air à sa pression et à sa température absolue et il suffisait de calculer, pour répondre à la question posée, comment varie le rapport $\frac{P}{\theta^2}$ à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère. Les résultats de ce calcul fait à l'aide des nombres de M. Teisserenc de Bort et par l'emploi de la formule de Laplace sont résumés dans le Tableau suivant :

Altitude moyenne.	$\frac{P}{\theta^2}\,10^{-5}$.	K.
m		
0	897	$+0{,}027.10^{-6}$
6100	571	$+0{,}017.10^{-6}$
8200	481	$+0{,}014.10^{-6}$
10000	298	$+0{,}009.10^{-6}$

D'où il ressort que, contrairement à ce que croyait Faraday, *la susceptibilité magnétique de l'air atmosphérique diminue à mesure qu'on s'élève.*

L'auteur montre qu'il est facile dans ces conditions de calculer l'influence maxima de l'atmosphère sur le champ magnétique terrestre. On peut considérer la portion d'atmosphère située au-dessus d'un lieu donné comme un cylindre de dimensions très grandes. A l'intérieur de ce cylindre l'induction maxima produite par le champ terrestre H est $H[1 + 4\pi K]$. Or, en France, la valeur de la force totale H est environ 0,466 C. G. S. et la fraction *maxima* de cette valeur due à l'atmosphère est donc

$$\delta H = 0{,}466 \times 4\pi.0{,}027.10^{-6} = 0{,}1412.10^{-6}$$

(quantité tout à fait inappréciable à nos instruments les plus sensibles).

Or ce sont les variations de δH qui, d'après Faraday, produiraient la période diurne de l'aiguille aimantée; on voit que si le rayonnement solaire était capable, non seulement de diminuer, mais d'annuler δH, le champ terrestre serait au maximum diminué de $0{,}1412.10^{-6}$. Cette quantité est environ 1500 fois plus petite que la variation diurne de la force totale du champ terrestre, laquelle est d'environ $0{,}21.10^{-3}$.

Donc, *les propriétés magnétiques de l'atmosphère ne peuvent avoir que des effets infimes sur le champ terrestre et, en particulier, elles ne peuvent produire qu'une fraction complètement négligeable de la période diurne.*

SÉANCE DU 19 FÉVRIER 1904.

PRÉSIDENCE DE M. D'ARSONVAL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 5 février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. CHUITON, Docteur en Médecine, à Brest.
MURAT (J.-ST.), Sous-Directeur de l'Institut météorologique et du Service central des Poids et Mesures de Roumanie.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL présente, au nom de M. DUCRETET, une *expérience montrant la production spontanée de courants alternatifs de fréquence élevée au moyen du téléphone.*

L'appareil employé est le téléphone haut parleur de MM. R. Gaillard et E. Ducretet. On met en circuit le microphone, le récepteur et une pile d'une dizaine de volts, de manière à obtenir un courant d'environ un demi-ampère.

Si l'on place le récepteur à environ 30^{cm} en avant du microphone et si l'on imprime à ce microphone une légère secousse, on entend un son de sirène très puissant qui se maintient indéfiniment et dont on peut régler la hauteur en modifiant la distance des deux appareils.

Il est assez intéressant de constater que le repos n'est pas un état d'équilibre stable pour le système formé par un téléphone et un microphone suffisamment sensibles.

Le son est déjà très régulier avec les pavillons ordinaires du téléphone haut parleur, mais ce son devient absolument fixe et encore plus intense si l'on remplace les pavillons par un tube métallique ($d = 3^{cm}$) reliant directement l'embouchure du microphone et celle du récepteur.

Le courant qui passe dans le circuit est un courant *interrompu* de l'ordre de grandeur de l'ampère. Au moyen d'un transformateur ordinaire de téléphone on obtient un courant alternatif de même puissance dont la fréquence est exactement réglée par la hauteur du tuyau sonore.

Il convient de rappeler, à ce propos, que M. L. Guillet a déjà eu occasion d'appliquer les mêmes principes quand il a réalisé l'entretien d'un diapason au moyen du courant fourni par un microphone placé devant l'ouverture de la caisse de résonance du diapason [1].

Sur la décharge disruptive à très haute tension; par M. J. DE KOWALSKI. — M. de Kowalski a pu, grâce à l'amabilité de la Compagnie de l'Industrie électrique à Genève, effectuer une série d'expériences avec du courant continu sous la tension de 65000 volts.

Après avoir décrit brièvement les machines système Thury et étudié le caractère des décharges à haute tension dans l'air, il indique le moyen de produire de très fortes oscillations au moyen d'une batterie de condensateurs et appuie sur l'importance de ce genre de production des ondes pour la télégraphie sans fil.

---

[1] *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXX, 1900, p. 1002.

Il étudie quelques-uns des effets du condensateur sur la marche de la machine (régularisation des tensions) et passe aux résultats qu'il a obtenus en mesurant les distances explosives dans l'air à haut potentiel.

L'arc électrique formé par un courant continu à haute tension entre électrodes métalliques a été étudié pour la première fois avec le même courant. Les caractères généraux du phénomène se rapprochent de ceux qui ont été reconnus par MM. Guye et Monasch pour l'arc à courant alternatif. On distingue aussi une zone stable et instable dans lesquelles l'arc semble dépendre de très près de certaines conditions de l'expérience.

Ainsi, par exemple, la longueur limite de l'arc, dans la zone stable, dépend de l'intensité du courant et de la différence de potentiel aux bornes de la machine.

Dans la zone instable l'arc a un aspect dissymétrique par rapport au plan perpendiculaire à la ligne des pôles. A peu près fixe à la cathode, il va aboutir successivement et très rapidement à des points très différents de l'anode.

Sur les propriétés des cohéreurs associés; par M. A. Turpain. — Les recherches ont été faites avec des cohéreurs à limaille métallique, différant entre eux par la longueur des intervalles séparant les électrodes (8, 9, 10, 12, 14 et 16 dixièmes de millimètre).

M. Turpain a d'abord constaté que la sensibilité de ces cohéreurs, pris isolément, est d'autant plus faible que l'intervalle entre électrodes est plus grand. Il a de plus reconnu que cette sensibilité est beaucoup plus grande quand le cohéreur est en circuit fermé que quand il est en circuit ouvert au moment où il reçoit des ondes.

Il a ensuite étudié la sensibilité des cohéreurs précédents disposés en parallèle, trois à trois ou tous les six. Il a observé encore une sensibilité bien plus grande en circuit fermé qu'en circuit ouvert.

Les six cohéreurs étant disposés en série, la sensibilité de l'ensemble n'est guère différente, que le circuit soit fermé ou ouvert Cette sensibilité dépend du point de la chaîne des cohéreurs où l'antenne est attachée. Si l'antenne est formée de quatre fils, respectivement reliés à quatre points différents de la chaîne, la sensibilité est notablement accrue.

En disposant en série deux ou trois des cohéreurs, et mettant en parallèle les trois ou deux chaînes ainsi formées, M. Turpain a reconnu que la sensibilité de l'ensemble dépend du mode d'association et aussi du nombre des points d'attache des fils de l'antenne. Cette sensibilité est maximum quand les cohéreurs sont disposés suivant trois chaînes de deux cohéreurs en série et l'antenne formée de trois fils reliés aux milieux des trois chaînes.

Les conclusions de M. Turpain sont :

« Le fait particulier qui se dégage de cette étude est la bien plus grande sensibilité que présente un cohéreur, toutes choses égales d'ailleurs, lorsqu'il est en circuit fermé, que lorsqu'il est en circuit ouvert.

» En utilisant convenablement ce fait expérimental dans le cas de plusieurs cohéreurs associés, on peut en particulier l'appliquer :

» 1° A la détermination commode et rapide de l'ordre de sensibilité de plusieurs cohéreurs associés en dérivation, détermination qui a son application immédiate dans la constitution de dispositifs permettant de suivre la marche des orages;

» 2° A la réalisation de dispositifs très sensibles formés de cohéreurs associés en série ou d'une façon mixte, et convenablement reliés à un certain nombre d'antennes, dispositifs semblant pouvoir être utilisés avec succès, tant en télégraphie sans fil qu'en télégraphie hertzienne avec conducteur. »

Nouveau dispositif électrique permettant de souffler l'arc de haute fréquence; par M. D'ARSONVAL.

M. d'Arsonval décrit un procédé pour souffler automatiquement l'arc de haute fréquence par le courant lui-même et le fait fonctionner.

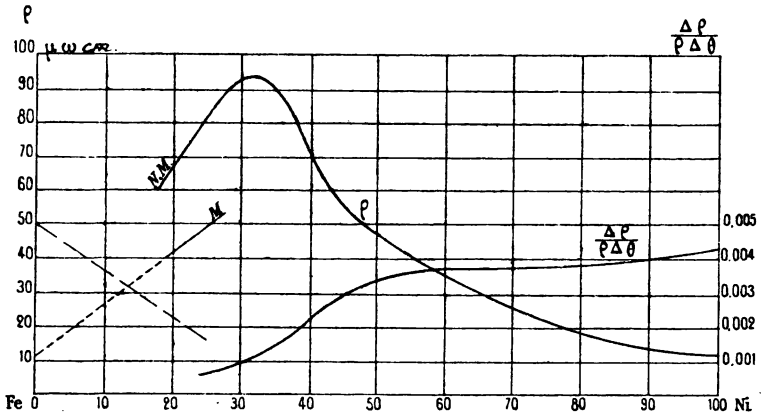
Ce procédé consiste à ajouter aux bornes de l'éclateur un condensateur de capacité et de self convenables, indépendant du condensateur d'utilisation.

Dispositifs de protection pour sources électriques alimentant les générateurs de haute fréquence; par MM. D'ARSONVAL et GAIFFE.

MM. d'Arsonval et Gaiffe décrivent et font fonctionner devant la Société un dispositif spécial qui a pour but d'empêcher le retour en arrière de l'éclateur des ondes de haute fréquence. Ce dispositif consiste essentiellement dans l'intercalation entre le transformateur et l'éclateur d'une boîte comprenant des résistances self-inductives et d'un condensateur branché, en dérivation aux bornes à haut potentiel du transformateur.

On évite ainsi tout retour en arrière des ondes de haute fréquence et l'on protège efficacement toutes les parties du circuit à basse fréquence, y compris l'alternateur qui, sans cette précaution, est souvent mis hors de service comme les auteurs en ont vu de fréquents exemples.

Note sur la résistivité des aciers au nickel; par M. Ch.-Éd. GUILLAUME. — M. Guillaume a donné, dans une précédente Communication, les valeurs de la résistivité et de sa variation avec la température pour quelques-uns des alliages de fer et de nickel doués de propriétés réversibles. Des recherches ultérieures ont permis de compléter ces premiers résultats, et de tracer le diagramme ci-joint qui donne, pour toute la série des aciers au



nickel réversibles, les valeurs des deux paramètres de la résistivité à 0°: sa valeur absolue et sa variation avec la température. Ce diagramme, communiqué dans le courant de l'été dernier à MM. Hagen et Rubens, les a engagés à étendre à la série des aciers au nickel les admirables recherches qu'ils ont consacrées à la mise en évidence d'une relation prévue par la théorie entre la résistivité et l'émissivité des métaux (*Voir* les *Annales*

de Chimie et de Physique, numéro de février 1904). La publication des travaux de nos savants collègues étant imminente, ils ont exprimé le désir que ce diagramme fût tout d'abord communiqué à la Société de Physique.

Ainsi que M. H. Le Chatelier l'a indiqué autrefois, le passage des aciers au nickel irréversibles de l'état non magnétique à l'état magnétique abaisse considérablement leur résistivité, et élève leur coefficient de variation; ce fait a été vérifié par MM. Hagen et Rubens, ainsi que le montre le segment de courbe M, correspondant aux alliages rendus magnétiques par le refroidissement dans l'air liquide, tracé d'après leurs expériences, tandis que la courbe NM, qui se relie à la courbe des alliages réversibles, correspond, d'après les mesures de M. Guillaume, aux mêmes alliages à l'état non magnétique. La courbe pour les alliages irréversibles magnétiques se relie sans doute d'une façon continue aux valeurs correspondant au fer à la température ordinaire.

Pour la variation de la résistivité avec la température, des alliages de teneurs voisines ont fourni parfois des nombres sensiblement différents; la courbe correspondante ne donne donc que des résultats approchés. La valeur déterminée par MM. Hagen et Rubens sur un alliage à 56 pour 100 de nickel est très légèrement supérieure à 0,004, ce qui conduirait à admettre un maximum accentué du coefficient de variation pour une teneur voisine de 60 pour 100 de nickel. Ce fait demande à être vérifié par l'étude d'un certain nombre d'alliages autour de ce maximum supposé.

M. Guillaume a trouvé que les alliages recuits ont une résistivité un peu inférieure à celle des mêmes alliages écrouis, avec un coefficient de variation un peu plus élevé.

SÉANCE DU 4 MARS 1904.

PRÉSIDENCE DE M. D'ARSONVAL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 février est lu et adopté

Sont élus membres de la Société :

MM. CLUZET, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine de Toulouse.
ICOLE (Léon), Professeur agrégé au Lycée de Douai.
MAYER (A.), Docteur en Médecine, à Paris.
TARRADE (A.), Attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (S.-et-O.).

M. D. TOMMASI adresse une Note dans laquelle il rappelle qu'en 1886, c'est-à-dire 10 ans avant la belle découverte de Rœntgen sur les rayons X, il était parvenu à impressionner une plaque photographique sans le concours de la lumière et par la seule action des *effluves obscures* (1).

---

(1) Note présentée par D. Tommasi à l'*Académie des Sciences* de Paris, le 22 mars 1886.

M. Vasilesco Karpen propose une explication du nouveau moyen, trouvé par M. d'Arsonval, pour souffler l'arc de haute fréquence (Communication faite dans la séance du 19 février 1904).

Les deux circuits oscillants, circuit d'utilisation et circuit soufflant, ont des périodes d'oscillation distinctes; il arrive donc nécessairement, et cela dès la première demi-oscillation du circuit à plus longue période, que les intensités des courants traversant les deux circuits soient égales et de signes contraires dans leur partie commune, c'est-à-dire dans l'étincelle; à ce moment celle-ci s'éteint. A partir de cet instant les deux circuits n'en font plus qu'un, et les condensateurs se déchargent l'un dans l'autre. Comme il n'y a pas d'étincelle, l'air compris entre les deux boules de l'éclateur reste froid et l'arc ne s'amorce pas.

Il résulte de cette façon d'expliquer le soufflage :

1° Pour que la décharge soit complète, il faut qu'au moment où l'étincelle s'éteint les charges des deux condensateurs soient égales. Cette condition ne peut être remplie qu'approximativement.

2° Les périodes d'oscillation des deux circuits ne doivent pas être très différentes, car la différence de potentiel entre les deux boules de l'éclateur pourrait redevenir dans ce cas assez grande pour que l'étincelle éclate de nouveau.

Sur l'épaisseur critique des liquides et des solides réduits en lames très minces; par M. Henri Devaux. — L'étude des propriétés des substances réduites en lames minces ayant des épaisseurs de plus en plus faibles a permis à M. Henri Devaux de reconnaître plusieurs faits importants :

1° Les propriétés mécaniques de la substance, cohésion pour les solides, tension superficielle pour les liquides, se maintiennent jusqu'à une certaine épaisseur; elles subissent une baisse brusque et considérable ou même s'annulent complètement dès que cette épaisseur est diminuée de moitié. Cette épaisseur particulière mérite le nom de *dimension critique des états solides et liquides.*

2° Si la substance est capable de s'étendre spontanément sur l'eau, *son extension est toujours limitée,* ordinairement au delà de la minceur critique. De sorte que l'on peut avoir, côte à côte, deux portions de surface, l'une huilée, par exemple, et l'autre pure, ayant identiquement la même tension superficielle.

3° L'emploi de solutions titrées a permis de déterminer avec précision l'épaisseur de ces lames. Cette épaisseur est toujours très faible, particulièrement pour les lames d'acide oléique et de savon en extension maxima, dont le poids en grammes par centimètre carré est voisin de 10^{-9}. Même au voisinage de cette minceur excessive, l'existence de la substance se révèle avec certitude.

4° L'épaisseur critique mesurée pour chaque substance est une dimension remarquablement voisine du diamètre attribué à la molécule, c'est-à-dire qu'elle est toujours au voisinage de $1^{\mu\mu}$. Parfois il y a identité avec le diamètre moléculaire calculé (*sulfure de plomb, stéarate d'alumine, oléine*); plus souvent l'épaisseur trouvée est un peu supérieure.

5° Ce fait se réalisant non seulement pour les liquides, mais aussi pour les solides, au moins pour certaines substances solides qui conservent leur cohésion jusqu'à cette épaisseur moléculaire, on peut en conclure que la molécule n'augmente pas de grosseur, pour ces substances, quand apparaît l'état solide. Elle serait la même qu'aux états gazeux ou liquide.

Démonstration élémentaire de la règle des phases, par M. C. RAVEAU.

1. Pour démontrer la règle des phases il n'est pas nécessaire de faire appel aux principes de la Thermodynamique, il suffit d'invoquer les caractères expérimentaux de l'équilibre réversible des systèmes hétérogènes. Cet équilibre, défini par la *phase* des différentes parties homogènes, est déterminé par la constitution chimique globale du système, la température et la pression. Tout équilibre qui ne présenterait pas ces caractères ne saurait être qualifié de réversible (1).

On conclut de là que, si la composition globale d'un système A est la même que celle d'un système qu'on formerait en faisant varier uniquement la masse des phases d'un système B en équilibre, l'état d'équilibre considéré de B est commun à A et à B. Ce point admis, le raisonnement devient purement algébrique.

2. Pour obtenir des équilibres différant un peu d'un état pris par un système donné, il faut, si on laisse la température et la pression constantes, faire varier les quantités des c constituants indépendants. Cette opération est inefficace quand les quantités ajoutées ou soustraites sont les mêmes que si l'on avait fait varier uniquement la masse des phases du système, c'est-à-dire si elles peuvent être mises sous la forme

$$dM_n = m_n^\alpha\, d\lambda_\alpha + m_n^\beta\, d\lambda_\beta + \ldots + m_n^\varphi\, d\lambda_\varphi,$$

m_n^α représentant la masse du $n^{\text{ième}}$ constituant qui se trouve dans la phase α du système initial. Si c est inférieur ou égal à φ, on peut toujours considérer les dM comme des fonctions linéaires et homogènes de c différentielles indépendantes, fonctions que l'on formera en complétant d'une façon quelconque les expressions précédentes. Les $c - \varphi$ nouveaux paramètres que l'on introduira ainsi sont les seuls dont la présence influe sur l'état d'équilibre. Les variations qu'ils déterminent sont indépendantes; l'état d'équilibre dépend donc au total de $c + 2 - \varphi$ paramètres.

En se plaçant à ce point de vue, la raison pour laquelle, par exemple, l'équilibre réversible d'un système dans lequel il y autant de phases que de constituants est déterminé uniquement par la température et la pression, c'est que des masses quelconques des constituants peuvent, en général, se répartir en des phases données.

3. La démonstration est en défaut quand les expressions linéaires du paragraphe précédent peuvent s'annuler simultanément. On peut alors faire varier la masse des phases dans un même système sans modifier l'équilibre. La pression ne varie pas si la température est constante.

C'est ce qui se produit toujours lorsque $\varphi = c + 1$; on a alors une relation entre la température et la pression. Si $\varphi = c + 2$, on peut former deux systèmes comprenant c phases communes et en outre, respectivement, la $(c+1)^{\text{ième}}$ et la $(c+2)^{\text{ième}}$; à chacun de ces systèmes correspond une relation entre la température et la pression, qui se trouvent ainsi déterminées lorsque les $c + 2$ phases existent simultanément.

4. On a prouvé que la règle des phases est vraie pour les systèmes,

(1) Le mot équilibre, employé faute d'un meilleur, n'implique ici aucune idée de compensation mutuelle entre des actions qui se contrebalancent. Sa signification n'est pas analogue à celle du même terme en Statique, mais à celle du mot immobilité en Cinématique. Un système en équilibre est celui dans lequel la phase des différentes parties homogènes est invariable, le mot phase englobant, suivant l'expression de Gibbs, toutes les propriétés, à l'exception de la forme et de la grandeur.

s'il en existe, dont l'équilibre présente les caractères invoqués ; on n'a rien supposé quant aux conditions nécessaires ou suffisantes de l'équilibre. C'est de la même façon que, quand on étudie les propriétés des corps homogènes, au début de la Thermodynamique, on établit des formules applicables aux corps, s'il en existe, dont l'état est entièrement défini par deux variables.

La Thermodynamique énumère les fonctions qu'il faudrait connaître pour déterminer, par le calcul, un état d'équilibre, supposé réversible. La série des raisonnements et des hypothèses nécessaires pour atteindre ce but est sans utilité, si l'on a simplement pour objet de démontrer la règle des phases.

Du rôle des corpuscules dans la formation de la colonne anodique des tubes à gaz raréfiés. — M. Pellat expose une méthode qui lui a permis de montrer que la colonne anodique d'un tube à gaz raréfié est formée par le choc des corpuscules tout comme la gaine cathodique, et non par le choc des ions positifs.

Cette méthode consiste à placer une portion de la colonne anodique dans un champ magnétique, uniforme entre deux sections droites de la colonne, et nul en dehors, les lignes de force de ce champ étant normales à l'axe de la colonne, et à observer la déviation électromagnétique qui en résulte pour celle-ci, le champ étant assez peu intense pour que les effets de la magnétofriction soient insignifiants. On réalise suffisamment cette disposition en plaçant une portion d'un long tube à gaz raréfié entre les deux moitiés d'une bobine creuse ne possédant que deux couches de fil. A l'intérieur le champ est pratiquement constant, à l'extérieur pratiquement nul.

Les lois de l'électromagnétisme permettent alors de trouver la trajectoire des particules électrisées dans la partie commune aux champs électrique et magnétique. Cette trajectoire dépend du quotient de la charge électrique à la masse des particules considérées. Or, ce quotient est au moins 2000 fois plus grand dans le cas des corpuscules que dans le cas des ions positifs; ce qui fait que la forme des trajectoires est tout à fait différente.

L'expérience montre que dans le champ magnétique le faisceau anodique est resserré sous forme d'un filet le long de la paroi du tube (que nous supposerons à la partie supérieure, le tube étant horizontal), tandis que loin du champ il remplit toute la section de celui-ci. Il en résulte que, du côté de l'entrée des particules dans le champ magnétique, c'est par une courbe ascendante *située dans le champ magnétique* que le faisceau doit se resserrer le long de la paroi supérieure, tandis qu'à la sortie du champ c'est par une courbe descendante *située en dehors du champ* que le faisceau doit s'épanouir dans toute la section; ce phénomène très net indique donc où sont l'entrée et la sortie des particules. Or, les ions positifs, suivant le sens du champ électrique, doivent entrer du côté de l'anode et sortir du côté de la cathode; c'est exactement l'inverse pour les corpuscules chargés négativement. Sans même faire aucun calcul, la question peut être ainsi tranchée.

L'expérience prouve que la luminescence, appelée *colonne anodique,* prend exactement la forme que la théorie assigne à l'ensemble des corpuscules, et n'a aucun rapport avec celle assignée à l'ensemble des ions positifs.

Dans son étude antérieure des phénomènes de magnétofriction, M. Pellat a trouvé que le faisceau cathodique des tubes de Crookes, la gaine cathodique et la colonne anodique des tubes de Geissler obéissent aux mêmes lois. Il apparaît dès lors que la magnétofriction est une des propriétés fondamentales des corpuscules en mouvement qu'on peut ainsi formuler :

Les corpuscules en mouvement (ou rayons cathodiques) *éprouvent,*

dans un champ magnétique intense, une action analogue à un frottement anisotrope très grand dans le sens perpendiculaire aux lignes de forces et nul (ou à peu près) *dans le sens de ces lignes.*

Stato-voltmètre. Réglage automatique du potentiel d'un condensateur. — M. V. Crémieu décrit et fait fonctionner cet appareil. La méthode qu'il utilise consiste à équilibrer une attraction électrostatique par une répulsion électrodynamique. On règle l'intensité du courant qui produit cette répulsion en agissant sur une boîte de résistance et la mesure des potentiels revient à une simple lecture de résistance.

L'appareil est sensible à 2 volts et permet de mesurer jusqu'à 40000 volts. D'ailleurs, on pourrait en construire allant de 2 volts jusqu'à n'importe quel voltage.

M. Crémieu rappelle ensuite rapidement la méthode publiée il y a trois ans pour le réglage automatique du potentiel d'un condensateur. Il décrit le relais électrostatique imaginé pour appliquer cette méthode et montre le fonctionnement de cet appareil.

Différents régimes de l'étincelle soufflée, par MM. J. Lemoine et L. Chapeau. — A propos des Communications antérieures de M. de Kowalsky et de M. d'Arsonval, MM. Lemoine et Chapeau signalent des observations qu'ils ont faites sur les étincelles soufflées par un courant d'air, jaillissant entre les pôles métalliques d'un transformateur à haut voltage dont le primaire est alimenté par un courant alternatif.

Si l'appareil fonctionne pendant quelques heures avec des boules de laiton primitivement polies, on observe deux régimes successifs :

Premier régime. — Les étincelles forment entre les boules un paquet cylindrique dont l'épaisseur apparente tient à ce que les points d'attache des étincelles sont répartis sur une surface de quelques millimètres carrés sur les boules.

Une photographie au miroir tournant donne les paquets qui correspondent aux alternances successives. La distribution des étincelles est irrégulière. Leur nombre est relativement faible : 25 par alternance, par exemple. La différence de potentiel efficace mesurée entre les pôles de l'éclateur, dans la même expérience, est de 10000 volts.

Second régime. — Le second régime succède au premier après quelques heures de marche. Les étincelles forment entre les boules un trait lumineux unique, rectiligne, immobile. Le miroir tournant donne des paquets à distribution régulière. Le nombre des étincelles a augmenté, il est de 50 par alternance et la distribution des étincelles est régulière. En même temps la différence de potentiel est descendue à 7000 volts.

Le passage au second régime est dû à la formation sur les deux boules de deux monticules coniques d'oxyde qui servent de point de départ à l'étincelle. On retrouve le premier régime en les supprimant. On le retrouve encore en remplaçant l'oxyde par des pointes métalliques de même forme.

Parmi les différents métaux essayés, l'aluminium possède la propriété curieuse de donner immédiatement et indéfiniment le second régime. Quand l'une des boules est en laiton poli et l'autre en aluminium, les alternances d'une même parité, commandées par le laiton, sont du premier régime; les autres, commandées par l'aluminium, sont du second régime. En écartant peu à peu les boules on affaiblit et l'on finit par faire disparaître les alternances du premier régime.

SÉANCE DU 18 MARS 1904.

PRÉSIDENCE DE M. D'ARSONVAL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 4 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. AUGÉ, Docteur en médecine, à Narbonne.
AYET (l'abbé), Professeur de Mathématiques à l'Ecole Fénelon, à Bar-le-Duc.
COMPAIN (l'abbé), Professeur de Sciences à l'Ecole Fénelon, à Bar-le-Duc.
HARET, Docteur en médecine, à Paris.
MECHLING (Gustave), Constructeur d'instruments de précision en verre, à Paris.
NEVEU (Raoul), Constructeur d'instruments de physique, à Paris.
PETIT, Elève-Ingénieur des Télégraphes, à Paris.
RICHARD-HELLER, Ingénieur-Electricien, à Paris.
SALLES (Edouard), Licencié ès sciences physiques, attaché au Laboratoire des recherches à la Faculté des Sciences de Paris.

Étude sur les solutions colloïdales. Application de la règle des phases à l'étude de la précipitation des colloïdes, par MM. VICTOR HENRI et ANDRÉ MAYER.

En étudiant les conditions de précipitation des colloïdes par différents électrolytes, on est amené à diviser les colloïdes en positifs et négatifs : les premiers précipitables par les anions, les seconds par les cations; les premiers se transportant dans un champ électrique vers la cathode, les seconds vers l'anode; les premiers précipités par les radiations β du radium, les seconds sont insensibles à ces radiations. L'ensemble de ces résultats obtenus par différents auteurs et par nous-mêmes semble montrer que la précipitation des colloïdes est un phénomène bien différent de celui de la précipitation des corps dissous quelconques et que, par conséquent, l'étude systématique de la précipitation des colloïdes ne peut pas être faite par les mêmes méthodes que la précipitation des corps dissous, c'est-à-dire que la règle des phases ne peut pas servir de guide dans le cas des solutions colloïdales. Cette conclusion, qui a été formulée par différents auteurs, nous paraît être inexacte. Nous croyons qu'on peut appliquer la règle des phases à l'étude systématique de la précipitation des colloïdes toutes les fois que les phénomènes de précipitation seront réversibles.

Deux méthodes différentes se présentent pour l'application de la règle des phases aux solutions colloïdales : 1° On peut considérer une solution colloïdale comme formée de granules très petits qui sont en suspension dans un liquide; la composition de ces granules étant différente de celle du liquide environnant, on peut envisager la solution colloïdale comme formée de deux phases correspondant au liquide et aux granules. Pour pouvoir appliquer la règle des phases à un système de ce genre, il faut d'abord montrer que la formation et la disparition de ces granules peuvent être des phénomènes réversibles; on peut le montrer sur des exemples d'émulsions et de solutions colloïdales obtenues au voisinage de points

critiques pour des mélanges de deux ou trois corps. Par exemple, si l'on a trois liquides A, B, C tels que A dissout B et C, et B est insoluble dans C, on pourra souvent former un mélange de ces trois corps qui présentera toutes les propriétés de solutions colloïdales (transport électrique, bleu de Tyndall, précipitation par les électrolytes, absorption, etc.).

La formation des colloïdes de ce genre sera souvent réversible (exemple: eau, chloroforme, alcool; eau, alcool, colophane; etc.). Quelquefois, un mélange de deux corps (eau et phénol, eau et acide isobutyrique, etc.) donnera lieu au voisinage du point critique à une solution ayant toutes les propriétés des colloïdes.

Dans l'application de la règle des phases à ces colloïdes, il y a lieu de distinguer ceux qui sont formés de deux corps et ceux qui contiennent trois corps. Pour les premiers, on voit que, si les forces capillaires n'interviennent pas comme facteur d'action, la composition de chacune des deux phases est indépendante de la quantité des composantes; si, au contraire, la tension superficielle intervient comme facteur d'action au même titre que la température et la pression, la composition de deux phases changera, et de la variation de cette composition on pourra déduire l'influence de la tension superficielle (composition des mousses, solubilité de poudres très fines, etc.).

2° La deuxième manière d'appliquer la règle des phases aux colloïdes consiste à considérer une solution colloïdale comme formant une seule phase (le mot *phase* se trouve donc ainsi un peu étendu), et à traiter les différents équilibres comme si l'on avait une solution normale quelconque. Tout un ensemble d'expériences montrent qu'on a le droit de procéder de cette manière, et que la règle des phases permet dans ces cas une étude et une classification systématiques des conditions de précipitation des colloïdes. En effet, avec des colloïdes très différents, tels que l'hydrate ferrique, l'argent colloïdal, le ferrocyanure de cuivre, de fer ou de zinc, l'amidon, le glycogène, la gélatine, les différentes substances albuminoïdes (sérum albumine, albuminoïde d'œuf, caséine, albumoses, etc.), on obtient des précipitations qui ont, d'une part, le caractère de réversibilité et où, d'autre part, la précipitation du colloïde n'est pas totale.

Exemples. — 1° Le ferrocyanure de cuivre précipité par addition d'azotate de cuivre. Si l'on ajoute des quantités croissantes de ce dernier, on voit que la quantité de ferrocyanure colloïdal qui reste en solution diminue de plus en plus; si l'on ajoute un grand excès d'azotate de cuivre, le précipité se redissout; le précipité obtenu par addition d'une faible quantité d'azotate de cuivre se redissout par addition de ferrocyanure de potassium; 2° L'argent colloïdal (colloïde négatif) additionné de quantités croissantes d'hydrate de fer (colloïde positif) précipite d'abord partiellement, puis totalement, puis de nouveau seulement en partie et, enfin, le précipité est soluble dans un excès d'hydrate de fer; 3° Pour les substances albuminoïdes, les précipités obtenus par les acides, par les sels de cuivre et d'argent sont partiels et les précipités sont solubles dans un excès de réactif. Toutes ces précipitations sont réversibles.

Nous avons entrepris l'étude de toutes ces précipitations réversibles en nous guidant par la règle des phases. Une étude analogue, faite dans un but différent, vient d'être publiée par M. Galeotti pour la précipitation des albuminoïdes par les sels de cuivre et d'argent; les expériences de cet auteur montrent l'avantage que présente la règle des phases dans l'étude de ces précipitations.

En particulier, pour certaines concentrations, on peut obtenir un système à trois phases : cristaux de sulfate de cuivre, précipité d'albumine, plus cuivre, solution contenant l'albumine et le sulfate de cuivre. En faisant varier la proportion d'albumine, la composition de la solution change;

il en résulte nécessairement, en raison de la règle des phases, que la composition du précipité doit changer : donc le rapport d'albumine en cuivre doit être variable. Nous avons trouvé des cas analogues pour les mélanges formés de gélatine, eau et chlorate de soude, ou gélatine, eau et sulfate de cuivre, qui donnent lieu à des systèmes de deux phases ou de trois phases. Il est également facile de voir que les précipitations du ferrocyanure de cuivre par des doses croissantes d'un sel de cuivre (en particulier les expériences de J. Duclaux) peuvent être représentées très simplement par la méthode graphique usitée dans les cas des mélanges à trois corps.

En étudiant les conditions de précipitation des colloïdes tels que l'albumine, on rencontre des cas qui sont en contradiction avec la plupart des théories de précipitation des colloïdes. Ainsi, par exemple, on peut faire des mélanges homogènes d'albumine, azotate de cuivre et eau, qui précipitent par addition d'azotate de cuivre ou par addition d'eau; cette dernière précipitation est en contradiction avec les théories de Hardy et Bredig. Quant à la théorie de Perrin, qui fait intervenir la charge électrique et la cohésion, elle est obligée d'admettre que les granules de colloïdes sont de composition variable.

En résumé, la règle des phases, appliquée aux solutions colloïdales comme à des solutions normales, permet d'étudier et de classer systématiquement les conditions de précipitation de toute une série de colloïdes.

M. Wyrouboff fait observer qu'il n'y a pas lieu de faire des théories sur les colloïdes avant de s'entendre sur ce qu'on doit appeler *corps colloïdal*. Les idées à ce sujet sont, jusqu'ici, extrêmement vagues et n'ont, par conséquent, aucun caractère scientifique; c'est ainsi que l'on confond souvent les *émulsions* avec les *solutions colloïdales* et que l'on imagine des hypothèses qui s'appliquent tantôt aux unes, tantôt aux autres, suivant le point de vue auquel on se place. En réalité, l'état colloïdal est un état physique particulier, propre à des espèces chimiques fort différentes, et il importe avant tout de distinguer soigneusement les réactions chimiques que présentent ces corps et les phénomènes d'ordre purement physique qui accompagnent ces réactions. Par exemple, les précipitations par les acides, les bases ou les sels neutres dépendent quelquefois de la formation de corps nouveaux (tel est le cas des chlorures condensés du fer par les sulfates neutres), parfois de l'insolubilité des colloïdes dans le nouveau dissolvant (tel est le cas de la précipitation des chlorures de métathorium, de métacérium et de l'acide sulfochromique).

M. Wyrouboff pense qu'il est préférable, dans l'état actuel de nos connaissances, d'étudier avec détail, tant au point de vue chimique qu'au point de vue physique, les nombreux corps colloïdaux déjà signalés, et de s'abstenir de ces hypothèses qui n'arrivent pas à expliquer, même approximativement, l'extrême complexité des phénomènes qu'ils présentent.

M. Jean Perrin fait observer que les faits signalés dans la belle Communication de MM. Henri et Mayer ne sont pas en opposition avec la théorie des colloïdes qu'il a proposée, théorie qui introduit implicitement les deux variables *charge de contact* et *cohésion*. Une solution colloïdale formée de *granules* en suspension peut précipiter par diminution de la charge de contact ou par accroissement de la cohésion des granules, et l'on s'explique ainsi qu'une même solution puisse précipiter soit par addition de sel, soit par addition d'eau. Les recherches de MM. V. Henri et Mayer conduisent à regarder chaque granule comme ayant une composition variable et pouvant, en particulier, dissoudre de l'eau.

Fluxmètre, par M. E. Grassot. — Cet appareil repose sur le principe

d'une méthode galvanométrique indiquée par M. Féry (*Comptes rendus*, 5 juin 1899). Il est constitué par un galvanomètre genre Deprez-d'Arsonval dont le couple de torsion est très petit et par conséquent l'amortissement très grand. Si l'on relie ce galvanomètre à une force électromotrice faible, le cadre n'ayant aucun travail à produire se déplacera avec une vitesse telle qu'il engendrera une force contre-électromotrice opposée et presque égale à celle qui lui est appliquée; on aura donc, en appelant α le déplacement et E la force électromotrice aux bornes,

$$\frac{d\alpha}{dt} = \mathrm{KE}, \qquad \alpha = \int \mathrm{E}\, dt.$$

La bobine, en se déplaçant dans le champ de l'appareil, produit un flux Φ également proportionnel à ce déplacement : $\alpha = \mathrm{K}\Phi$. Le flux Φ engendré par le déplacement de la bobine est égal et opposé à $\int \mathrm{E}\, dt$ appliqué aux bornes.

Si, au lieu de relier l'appareil à une force électromotrice, on le met en relation avec une bobine d'un nombre de tours déterminé placée dans un champ uniforme, une variation de ce champ se traduira par une variation de flux dans la bobine, c'est-à-dire par une force électromotrice $\mathrm{E} = \frac{d\Phi}{dt}$. Lorsque la variation sera terminée, on aura produit aux bornes de l'appareil $\int \mathrm{E}\, dt = \Phi$; nous voyons donc qu'une variation de flux dans la bobine extérieure à l'appareil correspond à une déviation déterminée de l'aiguille.

L'appareil réalisé par la « Compagnie pour la fabrication des compteurs », sous la forme de ses voltmètres ou ampèremètres ordinaires, est très robuste; la bobine mobile est suspendue par un fil de cocon qui est lui-même fixé à un ressort, ce qui le rend incassable; elle est reliée aux bornes de l'appareil au moyen de deux spiraux excessivement souples; de plus, elle porte une aiguille se déplaçant sur un cadran divisé en centaines d'unités C. G. S. et elle peut être ramenée au zéro mécaniquement par un bouton mû à la main.

Les applications de cet appareil sont celles du balistique qu'il peut remplacer dans tous les cas en présentant de plus les avantages : d'être indéréglable, de ne pas être influencé par les champs extérieurs, d'avoir une sensibilité indépendante de la résistance du circuit, et enfin d'être à lecture directe. Il permet en outre de mesurer des variations de flux très lentes, ce qui est impossible par les méthodes ordinaires.

Télescope pyrométrique pour basses températures, par M. Ch. Féry. — Les pyromètres basés sur l'emploi de la loi de Stéfan sont relativement très peu sensibles aux basses températures (rouge sombre), ceci provient de la formule même qui exprime la loi $\delta = a\mathrm{T}^4$.

Cet inconvénient se trouve encore accru quand on emploie, comme appareil de concentration des rayons, une lentille de verre. Ce corps est, on le sait, particulièrement peu diathermane pour les rayons de grande longueur d'onde émis précisément en grande quantité quand le corps rayonnant est à basse température. Des mesures directes montrent que, vers 800°, l'absorption varie entre 70 et 80 pour 100 pour les diverses variétés de verre couramment employées en Optique.

Se basant sur le fait indiqué par Rubens et Archinass (1) que la grosse

(1) *Sur les rayons restants du sel gemme et de la sylvine* (*Ann. Wied.*, 1897-1898, et *Journal de Physique*, t. VI, 1897, p. 215, et t. VII, 1898, p. 438).

perte dans ces conditions provient des rayons *métalliquement* réfléchis à la surface d'incidence, l'auteur a mis son appareil (1) sous forme d'un télescope à miroir argenté *au dos*. L'argenture superficielle est, en effet, à proscrire, à cause de sa fragilité pour les applications industrielles.

Dans ces conditions, il est facile de faire en sorte que les foyers des deux surfaces réfléchissantes (vitreuse et métallique) du miroir coïncident.

La sensibilité de l'instrument se trouve déjà grandement accrue, un corps à 500° (rouge naissant) donnant déjà, à l'aiguille du galvanomètre reliée au télescope, une déviation appréciable.

Une disposition optique très simple permet une mise au point rigoureuse; l'image est dédoublée lorsqu'elle ne se fait pas rigoureusement sur la soudure du couple thermo servant de réticule.

Nouveau récepteur pour la télégraphie sans fil, par M. N. Vasilesco-Karpen. — Entre deux armatures cylindriques verticales *a* se trouve, suspendue, par un fil en quartz, une *aiguille* formée de deux parties cylindriques en aluminium mince, réunies métalliquement. Les armatures *a* sont réunies par un circuit S ayant une self-induction convenable.

L'une des bornes de l'appareil ainsi formé est mise à la terre, l'autre borne est mise en communication avec l'antenne.

Lorsque l'antenne est impressionnée par des ondes électriques, les bornes de l'appareil sont soumises à une différence de potentiel alternative, dont la période est celle des ondes.

Dans ces conditions l'aiguille tourne autour de son point de suspension de façon à augmenter la capacité du système. Les déviations sont observées par réflexion à l'aide d'un petit miroir solidaire de l'aiguille.

Pour préserver l'aiguille d'une charge accidentelle on peut la réunir électriquement au milieu du circuit S.

La réception se fait dans les meilleures conditions lorsque la self-induction du circuit S et la capacité du système, à laquelle on peut ajouter une capacité auxiliaire, satisfont à la condition de résonance.

On sait que les cohéreurs et les récepteurs magnétiques sont sensibles surtout au choc du front de l'onde; au contraire le présent appareil accumule les effets et mesure l'énergie reçue par l'antenne.

Au point de vue pratique, ce mode de réception pourrait peut-être rendre service lorsqu'il s'agira de franchir de très grandes distances.

En effet, dans la télégraphie sans fil, la distance ne semble pas devoir être limitée par la sensibilité des récepteurs, mais par l'impossibilité où l'on se trouve d'empêcher les récepteurs trop sensibles d'enregistrer des signaux étrangers à la transmission. On est donc forcé de donner aux récepteurs une sensibilité moyenne, quitte à augmenter l'énergie transmise. Cette énergie dépend de deux facteurs : 1° l'amplitude des ondes, 2° leur nombre par signal. Or, pour les récepteurs sensibles au choc, il n'y a que le premier facteur qui intervient; au contraire, dans le mode de transmission dont il s'agit, on pourra multiplier utilement le nombre des trains d'ondes par signal.

---

(1) *Voir* une Communication précédente : *Lunette pyrométrique pour la mesure des hautes températures* (*Bulletin des Séances*, 1903, p. 12).

SÉANCE ANNUELLE.

VENDREDI 8 ET SAMEDI 9 AVRIL 1904,

à 8 heures du soir.

EXPOSITION.

Eclairage de la porte d'entrée et de la salle du rez-de-chaussée par..... **La Cie française de l'acétylène dissous avec la lumière oxyacétylénique.**

Salle du Conseil. — Eclairage avec les lampes Nernst (Modèle (intensif) par..... **La Société française d'électricité A. E. G.**

Salle d'entrée du 1er étage. — Éclairage avec nouvelles lampes à flamme, charbons Siemens..... **M. Richard-Heller.**

Le courant continu fourni aux Exposants est produit par des alterno-redresseurs **Rougé-Faget**, et distribué par des accumulateurs de la .... **Société anonyme pour le travail électrique des métaux.**

Matériel « Ella » pour radiographie et expériences à l'aide du radium. — Sonnette sans fil système **Jegou**. — Jouet de télégraphie sans fil « Le Sphinx ». — Spectroscope universel « Ella » modèle 1904. — Nouveaux appareils « Ella » pour télégraphie sans fil, modèle 1904. — Bobines et matériel « Ella » pour télégraphie sans fil, rayons X, haute fréquence..... **M. Louis Ancel.**

Isolement supprimant la transmission des bruits et des trépidations à travers les murs et les plafonds..... **MM. Anthoni et Prache.**

Interrupteur et coupe-circuit pour courants à haute tension. — Interrupteur et fiches de charge pour voitures automobiles. — Coupe-circuit à interrupteur à plombs multiples interversibles. — Support à verrou de sûreté..... **Appareillage électrique Grivolas.**

Nouvel indicateur électromagnétique de vitesse à distance pour ateliers et laboratoires industriels, automobiles, etc. — Modèle enregistreur pour tramways. — Voltmètre rationnel pour le contrôle instantané des batteries d'allumage. — Ohmmètres *compensés* à cadran pour mesures rapides de grandes et faibles résistances. — 2 modèles. — Megohmmètre. — Caisse universelle pour mesures de résis-

tances, différences de potentiel, intensités. — Galvanomètres portatifs à cadre mobile, miroir et lunette à réticule pour laboratoires. — Caisse de contrôle pour mesures industrielles de 0 à 600000 watts. — Nouveaux voltmètres et ampèremètres industriels avec amortisseur à air. — Appareils divers ..... MM. **Arnoux** et **Chauvin**.

Nouveaux modèles de bobines d'induction avec trembleur à haute fréquence et disposition originale du condensateur pour allumage des moteurs à explosions. — Nouvelles bobines à inducteur unique et induits sectionnés permettant l'allumage des moteurs à deux et à quatre cylindres avec une seule bobine. — Nouveau modèle d'auto-trembleur à rupteur extra-rapide. — Modèles divers ..... MM. **Arnoux et Guerre**.

Nouveau dispositif électrique permettant de souffler l'arc de haute fréquence ..... M. **d'Arsonval**.

Dispositifs de protection pour sources électriques alimentant les générateurs de haute fréquence ..... MM. **d'Arsonval** et **Gaiffe**.

Quelques éléments de condensateurs industriels. — Un moteur type α (triphasé) de 5 chevaux, poids environ 160kg. Un rotor du même moteur, poids 50kg. — Un moteur type γ de 8 chevaux, poids 200kg à 250kg. — Une excitatrice à enroulements sinusoïdaux pour le compoundage des alternateurs, poids 60kg à 80kg. — Un transformateur triphasé, pour le compoundage des alternateurs. — Un appareil pour la détermination des couples en fonction de la vitesse des moteurs, dit *torquemètre*. — Un stéréoscope à 50 vues d'applications d'alternateurs compounds et de moteurs types α, β, γ ..... M. **Boucherot**.

Lampe à arc alternatif carbominéral ..... M. **Blondel**.

Charbons carbominéraux dizones ..... MM. **Blondel** et **Dobkevitch**.

Disque rotatif à fente variable en marche ..... MM. **A. Broca** et **Sulzer**.

Différents produits obtenus par électrolyse du courant alternatif ..... MM. **A. Brochet** et **J. Petit**.

Spectrographe normal à réseau de diffraction moulé de MM. **A.-K. Tallent** ..... M. **Calmels**.

Compteur de vitesse ..... M. **J. Carlier**.

Oscillographe Blondel, modèle complet. — Ampèremètres et voltmètres thermiques. — Voltmètre thermique portatif. — Interrupteur moteur pour bobine d'induction. — Poste récepteur complet pour la télégraphie sans fil, système **Ferrié-Carpentier**. — Manipulateur pour la télégraphie sans fil. — Bobines d'allumage; modèles divers avec rupteur atonique, rupteur Duplex, rupteur à double effet. — Résonnateur symétrique, système **Ferrié** et **Blondel**. — Boussole amortie, système **Favé-Carpentier**. — Astrolabe amorti, système **Favé-Carpentier**. — Repère mobile pour la mesure des bases par la méthode Jaderin ..... M. **Carpentier**.

Diastoloscope, appareil s'adaptant sur un microscope et donnant des images très dilatées ..... M. **C. Chabrié**.

Machine à calculer Dactyle perfectionnée de divers formats, donnant jusqu'à 22 chiffres au produit. — Châssis photographique auto-retoucheur système **Joux-Artigue**. — Châssis spécial permettant de donner automatiquement aux épreuves photographiques la douceur et le modelé de la retouche. — Appareil automatique d'allumage et d'extinction à heures variables d'éclairage électrique, destiné à être placé sur les secteurs des voies publiques pour effectuer l'allumage et l'extinction automatiques des lampes à des heures variables. — Compteur universel alternatif et rotatif système **Chateau**..... **MM. Chateau frères et Cie.**

Balance de haute précision pour l'étalonnage des poids, construite pour le Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers..... **M. A. Collot.**

Chalumeau oxyacétylénique (soudure autogène). — Chalumeau à air et acétylène (soudure du plomb, brasures). — Lumière acétylénique. — Nouvelle préparation de l'oxygène. **Cie Française de l'Acétylène dissous.**

Installation complète de compteurs à double tarif et à haute tension, pour distribution triphasée 10000 volts. — Compteur de 5000 ampères. — Compteur pour courant alternatif 42 périodes, 110 volts, muni de ses derniers perfectionnements. Type spécial pour les petites installations en courant alternatif, avec minuterie à chiffres sauteurs, — Résistances portatives de très faibles poids et encombrement destinées aux vérifications de compteurs sur place. — Boîtes de connexions qui, placées devant le compteur, permettent d'en faire la vérification sans troubler en rien l'installation de l'abonné..... **Compagnie française des Compteurs « système Aron ».**

Nouveau procédé pour mettre en évidence les objets ultramicroscopiques..... **MM. Cotton et H. Mouton.**

Statovoltmètre, réglage automatique du potentiel d'un condensateur. — Relais électrostatique..... **M. V. Crémieu.**

Vérant, instrument pour examiner les photographies de petit format. — Stéréomicromètres. — Tableau-épreuve pour la vision stéréoscopique. — Trispectroscopes (construits par la maison **Zeiss**)..... **M. P. Culmann.**

Petits modèles d'appareils plus lourds que l'air, pour chercher à résoudre le problème de la conquête de l'atmosphère sans ballons..... **M. Delaurier.**

Expériences de capillarité. — Lames très minces liquides et solides. — Existence d'un minimum d'épaisseur. — Epaisseur critique des liquides et des solides..... **M. Henri Devaux.**

Chronométrographe portatif pour l'enregistrement du temps au $\frac{1}{100}$ de seconde avec double commande et changement de vitesse (Balancier compensateur, système Guillaume). **M. Paul Ditisheim.**

Modèle au $\frac{1}{5}$ d'une voiture de tramway électrique, équipée pour fonctionner au moyen de contacts superficiels à commutation magnétique..... **M. Henri Dolter.**

Machine statique à 20 plateaux avec deux courroies sans fin et un support d'ampoule à diaphragme iris pour radiothérapie	M. L. Drault.
Hyperbolographe à liquide (Résultats obtenus)	M. Estanave.
Dynamomètre totaliseur de M. **Ch. Henry**. — Appareil mesureur de l'inflammabilité des vapeurs de M. **A. Goy**. — Dispositif cathétométrique pour l'étude de l'élasticité des tissus vivants. — Nouvel uréomètre	Établissements Goy.
Nouveau spectroscope autocollimateur. — Expériences : Spectres du carbone et de quelques métaux	MM. Fabry et Jobin.
Méthode nouvelle pour la détermination des constantes des lentilles. — Télescope pyrométrique pour la détermination des basses températures (+ 300° à 1000°)	M. Ch. Féry.
Accumulateurs électriques, procédé au sulfhydrate d'ammoniaque, type industriel	M. Henri Fredet.
Appareils de localisation des rayons X pour le traitement des maladies de la peau, système du Dr **Belot**. — Matériel transportable pour la radiographie. — Pied support à mouvement universel. — Nouvel appareillage fonctionnant *sans interrupteur* pour la production des courants puissants de *haute fréquence* et des *rayons* X. — Bains de résonance et de lumière froide. — Dispositif de protection des appareils à haut potentiel. — Lampe **Leslie Miller-Gaiffe** pour la production des rayons violets et ultra-violets, fonctionnant sur les appareils de haute fréquence, appareil à compression normale. — Appareil permettant de mettre toujours dans les mêmes conditions de fonctionnement un tube de Crookes	M. A. Gaiffe.
Chronophone, appareil combiné du phonographe et du cinématographe. — Modèle portatif de *Chrono* de prise de vues, type 1904. — Nouvelle plate-forme panoramique, simple pour *Chrono* prise de vues. — Stéréodrome 6 × 13, nouveau stéréoscope classeur 6 × 13. — Stéréo block-notes 45 × 107, nouvel appareil stéréoscopique de poche de format excessivement réduit, employant des châssis ou un magasin indépendant	M. L. Gaumont et Cie.
Microscope à platine et oculaire micrométrique destiné aux mesures rapides des clichés spectrométriques	M. A. de Gramont.
Le Flux-mètre	M. Grassot.
Cinématographe Grivolas	M. Grivolas.
Inversion photographique de l'image *sous*-posée en *sur*-développement lent	M. A. Guébhard.
Ebullioscope de voyage construit par M. **A. Huetz**	M. Ch.-Ed. Guillaume.
Une table radiographique, radioscopique et stéréoscopique. — Appareil de contention des membres pour prendre plusieurs radiographies dans des plans différents, sans déplacer le malade. — Viseur horizontal pour centrage des tubes dans les radiographies latérales	M. Infroit.

Appareils pour la soudure autogène, la fabrication de l'oxygène et de l'eau oxygénée ..... M. G. **Jaubert.**

Spectroscope autocollimateur de MM. **Fabry** et **Jobin**, 1m de distance focale. — Deux prismes et un miroir automatiquement centrés sur le faisceau lumineux et automatiquement maintenus au minimum de déviation, disposés pour la vision oculaire et la photographie. — Appareil de M. **Mesnager** pour l'étude de la transmission des efforts extérieurs à l'intérieur des solides, au moyen de la lumière polarisée. — Plans interférents de M. **Mesnager** à mouvements parallèles pour la mesure de petits déplacements dans les constructions de tous genres..... M. **Jobin.**

Série de photographies de décharges électriques — Photographies de champs de cristallisation du chlorure de sodium. M. **Leduc Stéphane.**

Différents régimes de l'étincelle soufflée (Photographies).. MM. **J. Lemoine** et **Chapeau.**

Appareil nouveau pour la production continue d'une dissolution d'un gaz dans un liquide..... M. **Ed. Mack.**

Condensateurs à haute tension, système **Moscicki** (Fabrique suisse de Fribourg)..... ..... M. **J. de Modzelewski.**

Générateurs automatiques d'oxygène. — Alcooxygénérateurs : appareil pour le vieillissement artificiel des liquides alcooliques. — Appareil pour injections hypodermiques d'oxygène. — Appareil à distillation fractionnée continue dans le vide..... M. **R. Neveu.**

Expériences sur le rôle des corpuscules dans la formation de la colonne anodique des tubes à gaz raréfiés..... M. **H. Pellat.**

Microscope de M. **H. Le Chatelier** pour la métallographie (nouveau modèle avec platine spéciale). — Galvanomètre double de M. **H. Le Chatelier** pour l'étude des points critiques, avec dispositif de M. **Saladin** (enregistreur photographique). — Télescope photométrique de M. **Ch. Féry** pour l'étude des basses températures (+300° à 1000°). — Statovoltmètre de M. **V. Crémieu.** — Relais électrostatique de M. **V. Crémieu.** — Appareil pour éclat périodique de MM. **A. Broca** et **Sulzer.** — Échelle de lecture pour galvanomètre de M. **d'Arsonval.** — Appareils divers. M. **Ph. Pellin.**

Nouveau cadre orthodiagraphe du Dr **Guilleminot.** — Nouvel appareil à ozone du Dr **Guilleminot.** — Appareil de haute fréquence. — Mégascope pour les Ecoles de Médecine pratique. — Cinématographe transportable. — Lampe à alcool pour appareil de projection..... MM. **Radiguet** et **Massiot.**

Succes.e:r de M. Molteni.

1. *Précision*. Cinémomètre différentiel enregistreur. — Nouvelle girouette enregistrante construite par M. le Dr **Berget.** — Nouveau manomètre différentiel pour la mesure du débit dans les grosses conduites, système de M. **Mesnager.** — Balance enregistrante à sensibilité variable. — Statoscope pour ballons. — 2. *Electricité*. Ampèremètres et voltmètres à apériodicité réglable et apériodiques à cadre mobile pour tableaux de distribution. — Nouveau modèle de voltmètre et d'ampèremètre enregistreur apériodique à cadre mobile. — Boîte de contrôle pour courant continu.

— Ohmmètres. — Wattmètre enregistreur pour courants triphasés à ponts inégalement chargés. — 3. *Photographie.* Perfectionnements apportés au vérascope; modèle à décentrement. Vérascope 7 × 13. — Nouveau stéréoscope pliant de poche. — Nouvelle lampe à arc réglable à la main pour lanterne de projection. — Projections de diapositifs du vérascope à l'aide du taxiphote. — Banc pour la stéréophotographie à courte distance, en collaboration avec M. **Colardeau** .... **M. Jules Richard.**

Nouvelle batterie portative pour l'électrothérapie..... **M. G. Lézy.**

Tableau avec voltmètres et ampèremètres des différents modèles de fabrication **Hartmann** et **Braun.** — Fréquencemètre du **Dr Hartmann-Kempf**, 110volts, 42volts. — Pince de **Dietz** pour courants alternatifs. — Téléphone à ressort. — Instrument thermique transportable apériodique pour 0amp,01 — 0amp,06. — Phasemètre pour 10amp 110volts. — Petit dynamomètre pour courant alternatif du **Dr Bruger.** — Ohmmètre avec induction double. — Collection de fils excessivement fins. — Pont de mesure transportable. — Potentiomètre (le tout de la fabrication **Hartmann** et **Braun**). — Le plus petit tableau de distribution avec moteur. — Interrupteurs automatiques, résistances, commutateurs, etc. — Tableau médical pour courant alternatif. — Installation des rayons X, transportable, d'après M. le **Dr Rivière.** — Transformateur à courant continu pour cautères et lumière. — Appareils médicaux..... **M. Richard-Heller.**

Vues photographiques de machines-outils électriques..... **M. G. Richard.**

Instruments de mesures électriques. — Téléphone haut-parleur. — Avertisseurs d'incendie. — Petits moteurs de $\frac{1}{100}$ à 1 cheval pour courant continu et pour courant alternatif. — Lampes à arc « Lilliput » à faible intensité pour courant continu ..... **MM. Ch. Rousselle et Tournaire.**

Machine électrostatique à 12 disques rigides en ébonite avec dispositif assurant l'indépendance absolue de chaque disque et permettant leur montage et leur démontage instantanément sans qu'il soit nécessaire de toucher aux coussinets, axes ou organes de transmission ..... **M. Roycourt,** Successeur de M. Bonetti.

Pompe centrifuge **Rateau**..... **MM. Sautter, Harlé et Cie.**

Cercle méridien, Lunette astronomique, Théodolite..... **M. G. Secretan.**

Batterie d'accumulateurs à haute tension pour Laboratoires. Batteries légères à grande capacité..... **Société anonyme pour le travail électrique des métaux.**

Photomètre **Symmance.** — Appareils de mesure..... **Société pour la fabrication des Compteurs et matériel d'Usines à gaz.**

Pendule compensateur à tige d'acier-nickel..... **Société Genevoise.**

Lampes **Nernst** de différents types et accessoires. — Un candélabre de 12 lampes bougies **Nernst**. — Un appareil de rayons **Rœntgen** marchant sur le courant du secteur de la rive gauche à 110 volts et prenant une dizaine d'ampères.	**Société française d'Electricité A. E. G.**
Poste transportable pour la transformation de courant alternatif motophasé en courant continu par l'alterno-redresseur **Rougé-Faget**.....	**Société anonyme égyptienne d'Electricité.**
Nouveau système d'horloges électriques.....	**Société anonyme Magnéta.**
Electromètre **Curie**, dernier modèle. — Appareil **Curie** et **Cheneveau** pour mesurer le coefficient d'aimantation spécifique des corps faiblement magnétiques et diamagnétiques. — Appareils divers pour l'étude de la radioactivité induite. — Sulfures phosphorescents, procédé **Verneuil**. — Mélanges rationnels et trousse lumineuse au radium de M. **P. Boulay**, etc.....	**Société centrale de Produits chimiques.**
Nouveau matériel pour l'emploi de l'oxygène en médecine, dans les usines, les mines, etc.....	**Société l'Oxhydrique française.**
Appareils médicaux.....	**Société le Chauffage par l'Electricité.**
Nouveau microphone basé sur une nouvelle disposition des fragments de carbone.....	**M. Tariel.**
Bolomètre, détecteur d'ondes électriques. — Détecteur magnétique différentiel.....	**M. Tissot.**
Nouveaux types d'accumulateurs et d'électrolyseurs.....	**M. D. Tommasi.**
Interrupteur à mercure de M. **Villard** pour courant continu 110 volts. — Stéréomètre de M. le **Dr Marie**. — Tube à anticathode refroidie conique. — Tube radiothérapique de M. le **Dr Oudin**. — Radiochronomètre en demi-degrés de M. **Benoit**. — Lunette radiochromatique à courbe logarithmique. — Lampe à mercure. — Arc à mercure.....	**M. Turneyssen.** Successeur d'Alvergniat-Chabaud.
Appareil pour l'observation et l'enregistrement automatique des orages par le cohéreur. (Construit dans les ateliers de la *Société Mors* par M. **O. Rochefort**.) — Appareil pour le nettoiement automatique du mercure (construit par M. **Berlemont**).....	**M. A. Turpain.**
Nouvelles toiles résistantes pour rhéostats.....	**Usines du Pied-Selle.** Fumay (Ardennes).
Nouveau modèle de rhéostat liquide.....	**M. R. Varret.**

COMMUNICATIONS.

RÉUNIONS DES 7, 8 ET 9 AVRIL 1904.

Sur les rayons N émis par le corps humain, par M. Aug. CHARPENTIER. — Après avoir rendu hommage au grand nom de M. Blondlot, M. Charpentier regrette de ne pouvoir exposer, et encore trop brièvement, qu'une très petite partie de la question des rayons N, celle qui l'a occupé lui-même et qui touche de plus près à la Physiologie qu'à la Physique : l'émission de rayons N par le corps humain, et les rapports que les rayons de Blondlot ont avec le système nerveux.

Il ne pourra pas faire de démonstration publique de ces phénomènes, les méthodes d'observation actuelles étant surtout subjectives et ne comportant qu'un petit nombre de témoins à la fois. Ces méthodes sont délicates et nécessitent une éducation préalable, mais qui n'est pas en somme plus longue ni plus difficile que pour un grand nombre d'autres méthodes physiques, l'emploi du microscope, par exemple. Il existe déjà, d'ailleurs, des preuves objectives de l'existence des rayons N et de certaines de leurs propriétés, témoins les photographies réalisées par M. Blondlot, les effets pupillaires de l'excitation de certaines parties de la moelle, etc.

Un obstacle à l'étude des rayons N est le peu d'intensité qu'ils présentent généralement, et le peu de sensibilité de l'œil aux éclairages faibles où se manifestent leurs effets sur les sources lumineuses (étincelles, platine incandescent, petites flammes, corps éclairés par diffusion, et surtout corps phosphorescents, employés le plus souvent).

Mais l'œil n'est pas le seul sens qui puisse servir pour cette étude, leur action sur le goût et surtout sur l'odorat est intense et pourra être utilisée.

M. Charpentier passe rapidement en revue les étapes parcourues depuis la découverte de M. Blondlot jusqu'au premier fait physiologique connu, et dû encore au même savant : l'action excitatrice exercée sur la vision par les rayons N. C'est ensuite que l'auteur reconnut que l'organisme vivant était une source active de ces rayons. Cela frappa beaucoup l'opinion, quoiqu'il n'y eût rien là de mystérieux, et aujourd'hui on sait que beaucoup d'actions physiques et de phénomènes divers donnent lieu à une émission de rayons N (Bichat, Gutton, Macé de Lépinay, Meyer, Lambert, etc.).

Seulement il est remarquable que le système nerveux soit une source permanente et puissante de ce rayonnement, ce qui permettra sans doute d'entrer dans le mécanisme intime de l'action nerveuse. Les réactions objectives du fonctionnement nerveux sont peu importantes et assez mal connues pour les centres, elles sont nulles pour les nerfs. Il y a bien la *variation négative* (ou *courant d'action*) de Dubois-Reymond, mais elle n'est indiscutable que sur le nerf sectionné ; il est vrai que M. Charpentier, en découvrant les oscillations nerveuses créées sur le nerf intact par toute excitation électrique brève, a signalé leur parenté avec le phénomène précédent ; mais, en somme, il s'agit là de réactions difficiles à étudier. L'émission de rayons N par le nerf excité est, au contraire, des plus faciles

à constater; elle augmente avec le degré de l'activité nerveuse, et se manifeste pour toutes les excitations possibles, y compris l'excitation volontaire.

Le système nerveux n'est pas la seule partie de l'organisme à émettre des rayons N, mais il est la source la plus active.

M. Charpentier examine successivement les questions suivantes : l'organisme émet des radiations qui se réfléchissent, se réfractent, etc. ; sont-ce des rayons N? Oui, en grande partie, leurs propriétés concordent avec celles des rayons mesurés par M. Blondlot. N'émet-il que des rayons N? Non; certaines radiations physiologiques traversent le plomb, l'eau pure; d'autres, provenant des centres nerveux, sont partiellement arrêtées par l'aluminium, etc.

Ces rayons sont transmis à distance par des fils métalliques ou autres. M. Bichat a démontré que cette transmission pouvait s'expliquer en partie par une réflexion intérieure des rayons N sur la surface des fils; mais il reste d'autres particularités du phénomène non encore élucidées et dont M. Bichat poursuit l'étude.

M. Charpentier parle de la transmission à distance, avec faible vitesse, par une ficelle enduite de substance phosphorescente, et des oscillations lentes qui se manifestent dans cette transmission. Cette expérience permet de prendre sur le fait la différence entre l'action de la chaleur et celle des rayons N sur la phosphorescence. Il insiste sur les autres différences, notamment sur celles signalées récemment par M. Blondlot.

Ce n'est pas la chaleur animale qui augmente dans ses expériences la luminosité des écrans, car cette augmentation persiste avec des animaux refroidis ou avec des écrans réchauffés, de même qu'après interposition d'écrans divers.

De même que l'organisme, et surtout le système nerveux, émet des rayons N ou analogues, de même les rayons N agissent sur le système nerveux. Ils augmentent l'activité des différents organes sensoriels et produisent même certains phénomènes moteurs (action sur la pupille); leur action porte non seulement sur les organes des sens, mais sur les centres de ces organes, dans le cerveau ou dans la moelle.

L'action sur l'odorat est la plus remarquable; elle a lieu, en outre, sur les substances odorantes elles-mêmes qui, par réciprocité, émettent de leur côté des rayons N assez abondants (même en flacons fermés). L'analyse de ces phénomènes mérite d'être poursuivie.

La complexité des radiations physiologiques est démontrée par ce fait qu'on peut obtenir des écrans influencés d'une façon spéciale par certains organes; voici d'après quel principe : beaucoup de substances toxiques émettent des rayons N, et l'émission de ces rayons est augmentée (sans doute par une sorte de résonance) au voisinage des organes sur lesquels se porte plus spécialement l'action physiologique de ces toxiques quand on les introduit dans l'organisme ; ainsi les alcaloïdes agissant sur le cœur ont leur émission renforcée spécialement au voisinage du cœur, la strychnine, qui agit sur la moelle, illumine l'écran vis-à-vis de la moelle plus que partout ailleurs, etc. Ceci montre combien de voies inexplorées s'ouvrent à nous dans cette étude si vaste des rayons N.

M. Charpentier rappelle encore l'existence des rayons N_1 découverts aussi par Blondlot, et dont les propriétés physiques sont en quelque sorte inverses des précédentes. Il en est de même pour leurs propriétés physiologiques. L'organisme émet aussi des rayons N_1, soit mêlés aux rayons N, soit isolés par suite de circonstances particulières (extension du muscle contracté; phénomènes nerveux d'inhibition, Charpentier et Ed. Meyer).

L'auteur termine par l'étude rapide des modes d'observation des rayons physiologiques, des précautions à prendre et des causes d'erreur à éviter. Il montre les différents écrans, ainsi que les sources mobiles dont il s'est

servi, et termine en exprimant l'espoir de voir les physiciens s'engager résolument dans ce domaine immense que vient de leur ouvrir M. Blondlot, et qui leur réserve une abondante récolte de faits nouveaux et d'idées nouvelles.

État actuel de la Télégraphie sans fil; par M. le capitaine FERRIÉ. — Depuis 1901 la télégraphie sans fil n'a fait aucun progrès pratique important, mais, en revanche, les idées théoriques se sont précisées, et l'on peut expliquer les phénomènes constatés et classer les dispositifs employés, en s'appuyant seulement sur les propriétés connues des ondes hertziennes.

Les phases successives de la transmission d'un télégramme hertzien sont les suivantes : émission des signaux, transmission de l'énergie à travers l'espace et réception des signaux.

Émission des signaux. — L'émission des signaux se fait en produisant des oscillations électriques énergiques dans un conducteur isolé sur toute sa longueur, sauf à sa partie inférieure qui est mise à la terre. On produit ces oscillations par trois procédés, analogues à ceux que l'on emploie pour mettre en vibration un tuyau sonore fermé à l'une de ses extrémités : 1° excitation directe; 2° excitation par induction; 3° excitation par dérivation.

Dans chacun de ces procédés il faut encore tenir compte de la source d'énergie employée, qui influe sur l'amortissement des oscillations produites : bobine d'induction, transformateur industriel, arc chantant.

$$I = I_0 \cos \frac{\pi z}{2a} \sin \frac{\pi V t}{2a},$$

$$v = -\frac{I_0}{V_g} \sin \frac{\pi z}{2a} \cos \frac{\pi V t}{2a}.$$

Dans tous les cas, l'antenne vibre en quart d'onde, l'intensité et la tension étant décalées de $\frac{1}{4}$ de période. On le démontre aisément par le calcul et par l'expérience. On peut aussi, par excitation indirecte, produire dans l'antenne $\frac{3}{4}, \frac{5}{4}, \ldots, \frac{2n+1}{4}$ d'onde stationnaire. En supprimant la liaison de l'antenne avec la terre et en l'attaquant par le milieu, on la fait vibrer en $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \ldots, \frac{2n+1}{2}$ d'onde. Ces faits peuvent être mis en évidence dans un laboratoire en enroulant l'antenne en spirale. On intercale des lampes à incandescence en différents points pour montrer les variations de l'intensité, et l'on fait jaillir des étincelles entre un fil relié au sol et les différents points de la spirale pour constater les variations de tension.

Transmission de l'énergie. — Il suffit, comme l'a montré M. Blondel, de tenir compte des propriétés connues des ondes hertziennes pour expliquer le mécanisme du transport d'énergie utilisée par la télégraphie sans fil. L'antenne unie à la terre représente un oscillateur de Hertz, la terre complétant l'antenne par son image électrostatique. Les lignes de force magnétique sont des cercles concentriques à l'antenne, les lignes de force électrique des méridiens aboutissant normalement au sol. Hertz a montré qu'autour d'une petite oscillation rectiligne, les lignes de force électrique se détachent peu à peu pour former des boucles fermées se propageant dans l'espace en s'étendant en tous sens. On peut admettre que tout se passe de la même manière pour un oscillateur de grande longueur, l'an-

tenne; les tores ainsi formés s'étendent dans tous les sens et finissent par se rejoindre à la partie supérieure, et la propagation devient sphérique à partir d'une certaine distance.

L'auteur a étudié la répartition de l'énergie sur une sphère et trouve qu'elle variait comme $\frac{\cos^2\left[\frac{\pi}{2}\cos\theta_0\right]}{\sin^2\theta_0}$. L'expérience a vérifié en effet que l'énergie était concentrée à la surface du sol sur une hauteur fonction de la hauteur d'antenne. Cela explique que les communications sont bien meilleures sur mer que sur terre.

Réception des signaux. — L'antenne de réception plongée dans le champ coupe des lignes de force et devient ainsi le siège d'oscillations analogues à celles de la transmission. Leur énergie est évidemment maximum quand sa période propre est égale à celle des ondes transmises. Il faut donc mesurer les périodes quand les antennes ne sont pas identiques. Le moyen le plus simple est de faire propager les oscillations sur un conducteur placé, dans tous les cas, dans des conditions identiques et prendre pour longueur d'onde le quadruple de la longueur qui sépare deux concamérations successives sur ce fil.

On constate ainsi que la longueur d'onde est fonction de la forme et des dimensions de l'antenne, et non pas seulement de la longueur des fils qui la constituent. On a attribué ce fait à la perturbation à l'extrémité, mais les expériences faites pour une antenne à fil unique ont montré que l'on ne changeait rien à la longueur d'onde en modifiant la forme de l'extrémité de l'antenne. Il est aussi facile de voir que la réflexion à l'extrémité d'un conducteur n'apporte qu'une perturbation insignifiante, en excitant par induction d'abord un fil horizontal mis à la terre à une extrémité, puis le même fil mis à la terre à ses deux extrémités ou un circuit fermé filiforme (1). L'accord étant réalisé dans les deux cas, on trouve la même longueur à $\frac{1}{100}$ près pour le quart d'onde des oscillations produites par le circuit excitateur.

Il semble donc nécessaire d'admettre que la vitesse de propagation des ondes hertziennes le long d'un conducteur dépend des éléments électriques de celui-ci.

Les oscillations engendrées dans l'antenne de réception sont traduites en signes perceptibles au moyen des détecteurs d'ondes. Ceux-ci peuvent se diviser en deux catégories : les détecteurs sensibles aux tensions maximum ou efficaces, et les détecteurs sensibles aux intensités maximum ou efficaces.

Dans la première catégorie il faut ranger en particulier les cohéreurs et dans la deuxième les bolomètres, détecteurs électrolytiques, magnétiques, etc.

Il convient de faire choix des uns ou des autres, suivant le procédé de transmission adopté.

En ce qui concerne spécialement le cohéreur, on fait agir sur lui les oscillations de l'antenne par quatre procédés : action directe, induction, dérivation, induction et dérivation combinées.

Rôle de la terre. — Le rôle de la terre ressort nettement de la théorie exposée plus haut, elle complète l'oscillateur de Hertz, et l'énergie

(1) La formation d'ondes stationnaires en circuit fermé peut être mise facilement en évidence dans un laboratoire, avec un conducteur enroulé en spirale dans lequel on intercale des lampes à incandescence, comme dans l'expérience des circuits ouverts relatée plus haut.

est concentrée près de sa surface. Le premier rôle est le moins important, car on peut obtenir d'excellents résultats en complétant l'oscillateur, soit au moyen de plaques métalliques isolées, soit au moyen d'un fil horizontal convenablement choisi.

Les inconvénients de la télégraphie sans fil demeurent : l'insécurité des communications, la complication et la délicatesse des appareils, la lenteur du service, etc.

Les portées pratiques que l'on peut obtenir avec des bobines d'induction (500 watts environ) et des antennes de 50^{m} de hauteur sont de 400^{km} en mer. Sur terre il faut près de 500^{m} de hauteur dans les mêmes conditions. Ces résultats ont été obtenus au moyen des récepteurs de la télégraphie militaire.

Étude calorimétrique sur le vêtement; par M. J. Bergonié. — Le besoin d'énergie d'un organisme vivant dont la température est constante dépend du travail mécanique qu'il produit et de la chaleur qu'il perd. Le vêtement ne peut avoir d'action que sur la chaleur perdue en la limitant. Cette chaleur perdue est la plus grosse part dans l'énergie dépensée, d'où l'importance du vêtement.

Le vêtement parfaitement adapté ou *rationnel* serait celui qui limiterait nos pertes de chaleur par notre surface corporelle, à une quantité qui, sans être constante, ne subirait pas les variations de la température extérieure. L'économie d'énergie qui en résulterait aurait de nombreuses conséquences.

Pour déterminer ce vêtement, il faut connaître tout d'abord un coefficient caractérisant la valeur de protection d'une étoffe, sa *résistivité thermique*. Cette détermination a été faite, après bien d'autres expérimentateurs, au moyen d'un appareil simple. Il en a été de même d'un autre coefficient analogue, la *résistivité aérodynamique* des étoffes. Il serait à désirer que des coefficients fussent déterminés pour chaque étoffe à vêtement et marqués sur ces étoffes en même temps que leur prix.

En attendant, l'étude calorimétrique du vêtement tout fait peut donner des renseignements. Cette étude est remplie de difficultés insurmontables lorsque l'on se sert du sujet vivant comme source de chaleur. Il vaut mieux ne prendre du sujet vivant que sa forme et sa température et le remplacer par un mannequin de cuivre creux rempli d'eau, que l'on revêt des vêtements à mesurer. On obtient ainsi, pour chaque vêtement partiel, un coefficient fonction de sa coupe, sa longueur, l'étoffe qui le forme, ses doublures, les lavages antérieurs subis, son usure, l'humidité dont il est imprégné, etc. C'est son *coefficient de protection*. Un grand nombre ont été déterminés qui ne sont pas toujours d'accord avec les qualités qu'on attribue aux vêtements correspondants dans le public. De même on a déterminé, par la même méthode expérimentale, le coefficient de protection de combinaisons diverses de vêtements superposés semblables à celles en usage dans la vie ordinaire. Ces coefficients une fois déterminés, on peut en tirer l'évaluation de la quantité de chaleur perdue par le sujet fictif revêtu de ces diverses combinaisons et l'on trouve, par exemple, qu'entre une combinaison de vêtements superposés dite d'*hiver* et une autre dite d'*été* il n'y a pas une différence assez grande pour correspondre aux différentes moyennes de la température extérieure pendant ces deux saisons. D'où l'augmentation compensatrice, nécessaire dans ce cas, de la ration alimentaire.

Enfin il faut aussi, pour avoir les données nécessaires pour établir le vêtement rationnel, considérer les constances statiques du corps à vêtir ntroduites dans la Science et déterminées par M. Ch. Bouchard, et, parmi

ces constantes, l'une des plus importantes : $\frac{A}{S}$, le rapport de l'*albumine fixe* à la *surface corporelle*.

Quant à la répartition rationnelle du vêtement elle peut être déduite de la considération des températures périphériques.

Sur les moteurs d'automobiles; par M. Arnoux. — Le cycle à quatre temps, utilisé dans la presque totalité des moteurs tonnants actuels, comprend les quatre phases suivantes : 1° aspiration du mélange explosif pendant une course entière du piston ; 2° compression de ce mélange pendant la course suivante ; 3° inflammation, explosion et détente des gaz pendant la troisième course ; 4° refoulement des gaz brûlés hors du cylindre pendant la quatrième et dernière course.

L'invention de ce cycle est due à *Beau de Rochas,* qui l'a fait connaître, en 1862, dans un brevet constituant bien plutôt un beau Mémoire scientifique qu'un brevet. Dans ce brevet, intitulé : *Nouvelles recherches sur les conditions pratiques d'emploi de la chaleur,* De Rochas y établit avec une intuition profonde les véritables règles à suivre (constamment confirmées depuis par une longue expérience) pour réaliser le meilleur emploi de la force élastique des gaz.

« Il faut, dit-il : 1° que le cylindre ait le maximum de volume sous le minimum de surface ; 2° que le piston ait la plus grande vitesse possible de marche ; 3° que les gaz soient détendus le plus qu'on peut le faire ; 4° qu'ils aient la plus grande compression initiale. »

Il est difficile de résumer d'une façon plus concise les règles suivies d'abord timidement 14 ans plus tard par *Otto* dans son premier moteur utilisant le cycle de Beau de Rochas et actuellement par tous les constructeurs de moteurs fixes et automobiles utilisant ce cycle.

1° Le maximum de volume sous le minimum de surface (course égale au diamètre) à donner au cylindre est la condition nécessaire à réaliser pour réduire au minimum, dans un cylindre de diamètre donné, la fraction de la chaleur dégagée par l'explosion et communiquée par convection aux parois du cylindre.

2° La perte de chaleur par convection aux parois de l'enceinte étant en raison directe de la *surface* de cette enceinte et du *temps* pendant lequel les gaz échauffés restent en contact avec elle, il est donc nécessaire, comme le fait observer de Rochas, de donner au piston la plus grande vitesse possible de marche.

L'influence favorable des grandes vitesses de déplacement de piston et, par conséquent, des *grandes vitesses de détente* des gaz sur le rendement thermodynamique a d'ailleurs été mise nettement en évidence par les expériences effectuées en 1883 et 1884 par M. A. Witz. Ces expériences ont montré que l'énergie cinétique communiquée par une charge explosible donnée à un piston entièrement libre croissait avec sa vitesse de déplacement jusqu'à des vitesses de 6^m par seconde, que les moteurs d'automobiles atteignent et dépassent fréquemment aujourd'hui, parce que ces grandes vitesses sont également compatibles avec la grande légèreté à donner aux moteurs.

3° et 4° Dans le cycle à quatre temps, les *grandes détentes* sont intimement liées aux *hautes compressions*, également préconisées par *Beau de Rochas*. On sait, en effet, que plus on détend un fluide élastique, plus on lui soutire de sa chaleur pour la transformer en travail. Mais, pour détendre beaucoup, il faut faire varier dans de grandes limites le volume initial des gaz mis en jeu. Or, cette grande variation de volume ne peut être obtenue dans le cycle à quatre temps qu'en *comprimant* beaucoup,

c'est-à-dire en réduisant autant que possible le volume du mélange gazeux de façon à ce qu'étant soumis à un échauffement brusque (explosion) ou progressif (combustion Diesel), ce volume puisse passer d'une valeur *initiale* très réduite à une valeur *finale* aussi grande que possible.

L'avantage, au point de vue du rendement thermodynamique, résultant de l'emploi des hautes compressions ou, ce qui revient au même, des grandes variations de volume d'un fluide gazeux, peut aisément se calculer dans le cas où la compression et la détente ont lieu suivant le mode *adiabatique*, lequel est d'autant mieux réalisé que celles-ci s'accomplissent dans un temps plus court, ce qui est le cas des moteurs d'automobiles. Dans ces conditions, on obtient pour expressions du travail T développé :

$$\mathfrak{T} = \mathrm{E}q\left[1-\left(\frac{\mathrm{H}}{\mathrm{P}}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] = \mathrm{E}q\left[1-\left(\frac{v}{\mathrm{V}}\right)^{k-1}\right]$$

expressions dans lesquelles q désigne la quantité de chaleur mise en jeu par l'explosion, H et V, P et v les pressions et volumes de la masse gazeuse au début et à la fin de la phase de compression et enfin k le rapport $\frac{\mathrm{C}}{c}$ des capacités thermiques à pression et à volume constants, rapport qui reste à très peu près constant malgré l'accroissement sensible de ces capacités avec la température.

L'expérience a d'ailleurs constamment confirmé l'économie réalisée par les hautes compressions ou les grandes variations de volume du mélange gazeux. Alors que dans le premier moteur à gaz de Lenoir réalisant une variation de volume de 1 à 2, la consommation de gaz d'éclairage atteignait 3000^{l} par cheval-heure, cette consommation se trouve réduite à 368^{l} dans un moteur Cotteau expérimenté par M. A. Witz en 1903 et réalisant une variation de volume de 1 à 6. La consommation des moteurs à pétrole a suivi une marche parallèle de 1080^{g} de gazoline par cheval-heure dans les premiers moteurs à pétrole qui réalisaient une variation de volume de 1 à 3 environ, cette consommation est descendue à 180^{g} de pétrole lampant dans le moteur Diesel qui est aussi un moteur à quatre temps et qui réalise une variation de volume de 12,5 à 1 correspondant à une compression de 35 atmosphères.

L'allumage et le travail de la cylindrée. — Si l'on observe que l'*allumage* d'un mélange, son *explosion* et sa *détente* doivent se faire dans le temps extrêmement court que dure la course motrice du piston, on conçoit toute l'importance que peut présenter un allumage puissant et précis. Allumer un mélange explosif en un point, c'est provoquer l'*auto-inflammation* du mélange autour de ce point. Cette *auto-inflammation* étant fonction directe de la *température* et de la *pression* auxquelles se trouve porté à chaque instant le mélange, se propage d'autant plus rapidement que la compression *initiale* de celui-ci est plus élevée.

Les avantages de l'allumage électrique, presque exclusivement adopté aujourd'hui, sont de deux ordres; d'abord cette propriété que possède au plus haut degré l'étincelle électrique de produire *simultanément* une *compression* et un *échauffement* extrêmement élevés de la partie du mélange qui l'entoure, et ensuite la grande facilité que présente ce genre d'allumage de permettre de faire varier à volonté et instantanément le moment précis de l'inflammation, ce qui a une influence considérable sur le travail de la cylindrée et par conséquent sur la puissance du moteur. Par une série de *diagrammes de travail* déterminés à une même vitesse angulaire à l'aide du *manographe Hospitalier-Carpentier*, M. R. Arnoux

est parvenu à mettre en évidence l'existence d'un *maximum de puissance* par un allumage effectué non pas au moment du passage du piston au point mort, mais un peu avant ce passage. Tandis que cette avance d'allumage est inutile dans les moteurs fixes dont la vitesse ne dépasse pas 200 tours par minute, elle devient au contraire indispensable dans les moteurs d'automobiles dont la vitesse est 6 à 8 fois supérieure.

La vitesse du moteur et sa puissance effective. — La puissance *indiquée* du moteur étant égale au produit

$$N \int_{V_0}^{V} P\, dN$$

du travail de la cylindrée par sa *fréquence* N, sa puissance *effective*, c'est-à-dire utilisable sur l'arbre, est égale au produit de cette puissance *indiquée* par le rendement organique du moteur, lequel est pratiquement constant. On voit donc que, si le travail de la cylindrée était constant, c'est-à-dire indépendant de sa fréquence et par conséquent de la vitesse angulaire du moteur, la puissance effective de celui-ci croîtrait sans limite avec sa vitesse. Or, la détermination directe de cette puissance effective en fonction de la vitesse montre au contraire que la puissance, au lieu d'être représentée par une droite, est caractérisée par une courbe qui, se confondant d'abord avec une droite, s'en détache ensuite progressivement pour atteindre un maximum et décroître enfin indéfiniment. Le moteur à explosion présente donc cette particularité de développer la même puissance à deux vitesses différentes, l'une inférieure et l'autre supérieure à une certaine vitesse critique correspondant à un maximum. Le couple moteur développé étant égal au quotient de la puissance par la vitesse angulaire correspondante, c'est-à-dire proportionnel au travail de la cylindrée, décroît donc d'après cela constamment à partir des vitesses les plus faibles. D'autre part, la valeur du travail de la cylindrée étant réglée par la *quantité* du mélange explosif admis, on voit que cette dernière décroît aussi constamment. La cause de cette diminution réside tout entière dans ce fait qu'en raison des résistances opposées par les soupapes d'aspiration et d'échappement à l'écoulement des gaz frais et brûlés, le moteur n'a pas le temps de se remplir et de se vider aussi copieusement et complètement aux grandes qu'aux petites vitesses angulaires. Telle est la raison qui limite la puissance *massique* des moteurs d'automobiles, laquelle a cependant pu atteindre récemment un demi-cheval par kilogramme-masse de matière.

Carburants et carburation. — Pour des raisons de facilité de ravitaillement et d'utilisation, les combustibles employés dans les moteurs d'automobiles sont des hydrocarbures liquides de la série naturelle et saturée C^nH^{2n+2} dont le premier terme (gazeux) est le méthane ou formène CH^4 contenant 25 pour 100 d'hydrogène et dégageant $13^{cal},3$ par gramme de matière et dont le dernier terme (solide) est la paraffine $C^{24}H^{50}$, contient 15 pour 100 d'hydrogène et dégage $11^{cal},2$ par gramme. Les hydrocarbures utilisés sont intermédiaires entre ces extrêmes. Ce sont des mélanges liquides dégageant tous à peu près la même quantité de chaleur, soit $11^{cal},5$ par gramme. Une condition essentielle à réaliser dans l'emploi des combustibles liquides pour former avec eux des mélanges tonnants, c'est leur transformation aussi complète que possible *en vapeur* intimement mélangée à la quantité d'air convenable pour en obtenir la combustion intégrale. L'expérience montre en effet qu'un mélange de combustibles liquides et d'air ne peut détonner qu'à la condition que le

liquide soit transformé en vapeur et qu'il n'y a que les parties gazeuses qui explosent; les parties restées à l'état vésiculaire ne pouvant être en contact avec le carburant que par leur périphérie, la combustion de celles-ci est limitée à cette périphérie.

Le cœur des vésicules subit une décomposition pyrogénée libérant l'hydrogène du carbone. En vertu du principe thermochimique du *travail maximum,* qui est le suivant : *Toute transformation chimique exothermique tend vers la production du composé qui dégage le plus de chaleur :* l'hydrogène, dont la combustion dégage 29^{cal}, 65 par gramme pour former de la vapeur d'eau, brûle d'abord entièrement. Le carbone, dont la combustion complète dégage seulement 8^{cal}, 13, brûle ensuite, mais très incomplètement, en raison d'une propriété qui lui est particulière : c'est l'absence presque complète de tension de vapeur, même aux températures les plus élevées, et dont la lampe électrique à incandescence est une preuve manifeste. En raison de cette absence de tension de vapeur, les atomes de carbone, libérés d'une combinaison, au lieu de se comporter comme ceux d'un gaz, c'est-à-dire de se repousser, s'attirent au contraire et s'agglomèrent pour former ces grains de suie dont la combustion est sinon impossible, tout au moins très incomplète, parce qu'elle ne peut s'effectuer que par leur périphérie.

Cette propriété particulière du carbone, qui est vraisemblablement la raison d'être de l'infinie variété de ses combinaisons avec l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, etc., dont s'occupe la Chimie Organique tout entière, montre l'intérêt pratique que présentent d'abord la transformation complète du liquide à l'état de vapeur, qui est l'extrême état de division auquel on puisse atteindre, et ensuite le mélange intime de cette vapeur avec l'air.

Les carburateurs actuels ne remplissent que très imparfaitement ces deux conditions de vaporisation et de mélange intime des gaz, parce que ce sont des *pulvérisateurs,* alors qu'ils devraient être des *vaporisateurs.* Aussi leur emploi n'est possible qu'avec des hydrocarbures extrêmement volatils, comme l'essence des automobiles ; dès qu'on substitue à cette dernière du pétrole lampant ou de l'alcool, on ne peut obtenir de mélange tonnant qu'en chauffant celui-ci au préalable, c'est-à-dire en vaporisant complètement les vésicules liquides fournies par le carburateur.

Il est incontestable que, dans l'état actuel des choses, les plus grands progrès à réaliser, au point de vue de l'économie de combustible, sont ceux à apporter au carburateur.

SÉANCE DU 15 AVRIL 1904.

PRÉSIDENCE DE M. C.-M. GARIEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 mars est lu et adopté.

Photomètre Symmance. — M. LAURIOL présente le photomètre Symmance et Abbady.

Un disque tournant, convenablement chanfreiné, présente tour à tour à l'observateur, en un même point de l'espace, des surfaces éclairées par l'une ou l'autre des deux sources de lumière à comparer. Avec une fréquence convenable (environ 6 par seconde), il se produit un papillotement

qui cesse lorsque, en réglant convenablement les distances, on a égalisé l'éclat des deux surfaces.

L'appareil demande encore divers perfectionnements, mais paraît se prêter un peu mieux que d'autres aux mesures, surtout pour deux sources de couleurs différentes. Toutefois, l'étude complète est encore à faire.

A propos de la Communication de M. Lauriol, M. Broca fait remarquer que le principe du photomètre présenté lui semble inexact. On ne peut définir d'une manière précise l'égalité de deux lumières de couleurs différentes. Elles donnent des notions qui pourront toujours se distinguer l'une de l'autre. Cependant, elles peuvent donner à l'œil certaines propriétés au même degré. C'est ainsi que deux lumières, une rouge et une bleue, par exemple, peuvent donner à l'œil la même acuité visuelle; c'est ainsi que deux couleurs différentes peuvent donner à l'œil la notion d'égalité d'éclat. C'est une notion physiologique impossible à définir, mais qui correspond cependant à quelque chose de net. Au point de vue pratique, on se sert des lumières soit pour donner à l'œil de l'acuité visuelle, soit pour lui donner la notion de clarté, et il semble que, dans le cas de la pratique industrielle actuelle, des surfaces éclairées qui ont même éclat donnent à l'œil la même acuité visuelle. On peut donc dire que ce qui est intéressant dans l'intensité photométrique de sources lumineuses, c'est de l'étudier au point de vue de l'égalité d'éclat.

Cette égalisation se fait avec une précision médiocre, il est vrai; mais, au moins, elle ne comporte pas d'erreur systématique. Toutes les fois que l'on cherchera à tourner la difficulté d'appréciation de l'égalité d'éclat hétérochrome, on modifiera le phénomène lui-même et l'on aura des résultats systématiquement faussés. Dans le cas qui nous occupe, par exemple, on s'adresse à des sensations colorées intermittentes sur la rétine. Les études de MM. Broca et Sulzer (*Comptes rendus*, novembre 1903) ont montré que les différentes couleurs se comportent à ce point de vue d'une manière entièrement différente. Il s'agit de savoir si cette cause systématique d'erreur n'a pas une action considérable dans le cas de la pratique. Le phénomène mis en jeu est physiologiquement différent du phénomène d'égalité d'éclat apparent; il faut établir par des expériences concluantes si, oui ou non, il donne des résultats concordants avec la détermination directe avant de pouvoir se prononcer définitivement sur sa valeur.

Lampe à alcool à incandescence pour laboratoire. — M. Lemoine présente à la Société la lampe *Sol* de M. Dillemann, ingénieur des Arts et Manufactures. Cette lampe à incandescence, par l'alcool, d'une construction et d'une manœuvre très simples, peut rendre de grands services pour les projections dans les laboratoires qui ne disposent pas de l'électricité ou de la lumière oxhydrique.

Nouveau spectroscope autocollimateur de MM. Fabry *et* Jobin. — M. Jobin présente le spectroscope autocollimateur *Fabry et Jobin*, qui a figuré à l'Exposition annuelle de la Société, à Pâques.

Il rappelle les avantages généraux de l'autocollimation en spectroscopie :

1° La puissance des appareils à nombre égal de prismes est doublée, puisque chaque prisme sert deux fois;

2° Réduction d'environ moitié des dimensions des appareils, ce qui a son importance dans le cas présent où la distance focale de l'objectif est de 1^m environ;

3° Commodité d'emploi. L'opérateur a sous la main tous les organes de manœuvre de l'appareil : mise au point du spectre; ouverture de la fente;

réglage en direction d'un volet par rapport à l'autre; réglage en direction de toute la fente; manette qui, mettant en mouvement les prismes et le miroir, fait défiler tout le spectre dans le champ.

La disposition du spectroscope Fabry et Jobin est la suivante :

La lumière émise par la fente placée sur le côté de l'appareil tombe sur un petit prisme à réflexion totale qui renvoie la lumière dans l'axe de l'appareil.

Le faisceau lumineux traverse ensuite l'objectif, en sort parallèlement, se réfracte successivement dans deux prismes de flint et se réfléchit sur un miroir-plan. Après cette réflexion il traverse à nouveau, en sens contraire, les deux prismes, puis l'objectif, et vient ainsi, après quatre dispersions, peindre un spectre dans le plan focal de l'objectif. Ce spectre est examiné à l'oculaire ou bien reçu sur une plaque photographique.

Les caractéristiques de cet appareil sont les suivantes :

1° Les prismes et le miroir sont mobiles sur des alidades qui, grâce à un système de cames en développante de cercle, dont M. Jobin explique l'épure, ont des mouvements angulaires dans les rapports 1-3-4, et sont ainsi maintenues automatiquement au minimum de déviation pour toutes les régions du spectre ;

2° Les centres de rotation des alidades portant les prismes sont choisis de telle façon que les prismes et le miroir restent constamment centrés sur le faisceau lumineux.

M. Jobin indique ensuite les résultats que M. Fabry a obtenus :

Par exemple, dans la région *b* du spectre ($\lambda = 520$), M. Fabry a pu voir toutes les raies marquées sur les cartes du Rowland.

Ci-dessous quelques résultats numériques intéressants :

Longueur d'onde.	Longueur occupée sur la plaque pour une étendue de $1^{\mu\mu}$.
	mm
550	1,1
500	1,25
450	1,35
400	2,6
370	3,4

La comparaison de quelques-uns des grands spectrographes existants donne lieu au Tableau suivant :

Indication de l'appareil.	Dispersion dans la région $\lambda = 434$.
	mm
Brun (Observatoire de Yerkes)	1,4 par $1^{\mu\mu}$
Mills (Observatoire Lick)	0,8 »
Observatoire de Potsdam	1 »
Fabry et Jobin	2 »

Dans la même région, pour un réseau concave de 7^{m} de rayon et de 380 traits au millimètre, $1^{\mu\mu}$ serait représenté sur la plaque par 4^{mm} pour le premier spectre.

On aurait le même résultat dans un spectroscope Fabry et Jobin de 2^m de distance focale, ce qui constituerait un appareil bien moins encombrant et, en outre, bien plus lumineux.

Après cette communication, M. Jobin invite les membres de la Société à expérimenter l'appareil et il leur montre le spectre de l'arc entre deux charbons d'arc à flammes.

SÉANCE DU 6 MAI 1904.

PRÉSIDENCE DE M. C.-M. GARIEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 15 avril est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. BIAIS, Professeur de l'École de Médecine de Limoges.
COGIT, Constructeur d'instruments pour les sciences, à Paris.
LEVY (Michel), Membre de l'Institut.
LŒWY, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Paris.
MOISSAN, Membre de l'Institut.
VARIN (l'abbé), Professeur à l'École libre Sigisbert, à Nancy.

M. LE PRÉSIDENT annonce les pertes douloureuses que la Société vient de faire en les personnes de M. DUCLAUX, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, et de M. CH. SORET, ancien Recteur de l'Université de Genève, anciens Membres du Conseil de la Société de Physique.

M. LE PRÉSIDENT adresse les remercîments de la Société aux Compagnies de chemins de fer qui ont facilité à près de 200 de nos confrères de province et de l'étranger leur voyage à Paris pour nos Séances de Pâques.

Il constate le succès qu'ont obtenu les si intéressantes conférences de M. ARNOUX, sur les *Moteurs d'automobiles;* de M. le Dr BERGONIÉ, sur le *Vêtement;* de M. le Dr CHARPENTIER, sur les *Rayons N émis par le corps humain;* et de M. le Capitaine FERRIÉ, sur l'état actuel de la *Télégraphie sans fil.*

De très nombreux Membres de la Société ont pu profiter des visites organisées au Laboratoire d'Essais du Conservatoire des Arts et Métiers ainsi qu'au Laboratoire central et à l'École supérieure d'Électricité. Les portes de ces établissements nous avaient été ouvertes toutes larges, et nous ne saurions trop dire l'empressement et l'amabilité avec lesquels nous avons été accueillis.

M. LE PRÉSIDENT termine en exprimant toute la gratitude de la Société pour MM. les Constructeurs et les Exposants dont le concours empressé a assuré comme toujours la brillante réussite de l'Exposition.

M. DONATO TOMMASI adresse à la Société deux notes relatives, l'une à

l'action de la lumière sur la vitesse de formation des accumulateurs, et l'autre à *la transformation de l'énergie chimique en énergie voltaïque.*

Théorie élémentaire de l'audition; par M. MARAGE. — M. Marage expose à la Société quelques-unes des expériences qu'il a entreprises pour étudier la physiologie de l'oreille.

Après avoir décrit l'organe auditif d'une façon schématique, il montre le fonctionnement des différentes parties qui le composent :

Le pavillon contribue à indiquer la direction du son. Le conduit auditif augmente l'action des vibrations sur le tympan.

Le tympan agit comme une membrane mince et à peine tendue qui transmet toutes les vibrations sans introduire ni supprimer aucun harmonique. L'étrier se déplace de quantités qui sont au plus de l'ordre du $\frac{1}{1000}$ de millimètre.

L'endolymphe et la périlymphe sont formées d'une dissolution, dans un liquide de nature inconnue, de bicarbonate de chaux et traces de bicarbonate de magnésie, avec cristaux en excès de carbonates insolubles : ces cristaux sont les otolithes.

Les vibrations sont transmises à travers la périlymphe et l'endolymphe sans subir aucune modification. Quant à l'action de ces vibrations sur le système nerveux lui-même, M. Marage estime que les différentes théories émises jusqu'ici sont des hypothèses très intéressantes, mais qu'il n'y en a pas une seule qui soit appuyée sur des faits absolument probants.

Sur la décharge électrique dans les gaz raréfiés. — M. P. VILLARD rappelle que dans un travail antérieur (1) il a montré que l'émission cathodique est un phénomène discontinu de fréquence aisément mesurable, et signalé l'existence de deux modes de décharge électrique dans un gaz raréfié.

Il décrit les caractères principaux de ces deux modes de décharge : Une ampoule de Crookes (tube à croix par exemple) est excitée par une bouteille de Leyde qu'on peut alimenter à volonté au moyen d'une machine statique, appareil qui donne un débit faible, régulier et à peu près indépendant de la charge du condensateur (2). Dans ces conditions, l'émission cathodique ordinaire apparaît dès que le voltage dépasse une certaine valeur V, variable avec l'état de l'ampoule; et l'intensité de l'émission augmente avec le voltage. Si l'on cesse de faire agir la machine, l'émission continue pendant un certain temps, une demi-minute par exemple, puis s'arrête quand le voltage est redescendu à la valeur V, et la bouteille reste chargée. Il s'est ainsi produit dans le diélectrique gazeux une fuite qui se répare d'elle-même et dont le débit est limité par l'ampoule indépendamment des résistances extérieures qui peuvent être négligeables. Si, au moyen de la machine, on augmente la charge de la bouteille en surmontant cette fuite, lorsque le voltage atteint une nouvelle valeur V', supérieure à V, le condensateur se décharge instantanément et complètement dans l'ampoule : cette décharge est accompagnée d'un bruit sec et d'une illumination générale du gaz de l'ampoule. Si le vide est poussé assez loin, on peut cependant constater la présence de rayons cathodiques

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* t. CXXX, p. 1750.

(2) Pour de simples expériences de démonstration, la machine peut être remplacée par une bobine de Ruhmkorff munie d'une soupape électrique, mais le débit est irrégulier et, surtout, il augmente beaucoup lorsque la bouteille de Leyde est déchargée.

en majeure partie très déviables par un champ magnétique. Le caractère principal de ce second mode de décharge est qu'elle équivaut à un court circuit et le débit n'est limité que par les résistances extérieures. Des oscillations électriques se produisent et le voltage du condensateur tombe sensiblement à zéro.

Avec une ampoule renfermant un gaz raréfié au minimum de résistance, on peut répéter l'expérience avec une source continue à 500 volts. On observe d'abord une émission cathodique d'intensité modérée (quelques dixièmes d'ampère), capable de rendre le verre fluorescent; puis, si l'on élève un peu le voltage, il se produit une décharge de grande intensité, capable de faire sauter instantanément les plombs de sûreté et de pulvériser l'ampoule si l'on n'a pas mis en circuit un rhéostat suffisant.

La durée et l'énergie de la décharge n'étant pas ici limitées comme dans le cas d'un condensateur, c'est un arc à grand débit qui se produit.

Il en est encore de même avec les lampes à mercure dans lesquelles on peut à volonté observer la fluorescence du verre sous 50000 volts, ou, au contraire, un arc se maintenant sous 25 volts sans fluorescence des parois.

A la pression ordinaire, le premier mode de décharge n'est autre que l'effluve à bruissement caractéristique qui s'échappe des armatures d'une bouteille de Leyde chargée et abaisse son voltage jusqu'à une valeur limite : le second mode est l'étincelle disruptive qui décharge complètement le condensateur.

Dans l'air raréfié à quelques centimètres du mercure, on observe également deux formes distinctes de décharge : l'étincelle non oscillante, en forme de ruban déviable à l'aimant, ou, au contraire, un trait de feu brillant, non déviable, oscillant; avec une source telle qu'une machine statique ou une bobine et un condensateur, le trait de feu s'obtient en intercalant une étincelle dans le circuit pour laisser s'élever le voltage du condensateur. En abaissant la pression le trait de feu se transforme, d'abord par fragments, puis totalement, en une nébulosité de plus en plus diffuse, à peine sensible à l'aimant, mais à caractère nettement oscillant. Le défaut de sensibilité de ces décharges brusques s'explique d'ailleurs très bien par leur faible durée.

L'auteur pense que l'existence de ces deux modes de décharge suffit à expliquer les phénomènes nouveaux, récemment décrits par M. Pellat [1], et attribués par cet auteur à une action magnétique spéciale, la *magnéto-friction*. En faisant agir, par exemple, un champ magnétique transversal sur la région médiane d'un long tube de Geissler cylindrique, le gaz luminescent est dévié par le champ et se rassemble en un étroit filet : si l'on augmente la valeur du champ, ce filet se résout progressivement en une nébulosité qui se répartit dans toute la section du tube et demeure insensible au champ.

L'auteur pense qu'il s'agit simplement d'un accroissement local de résistance et d'une élévation consécutive du voltage, déterminant, dans la région considérée, le passage du premier mode de décharge au second. La même transformation s'observe en effet avec un très faible champ, juste suffisant pour donner une déviation du filet lumineux, et en adjoignant à la bobine une petite bouteille; si l'on intercale dans le circuit une étincelle de longueur croissante jusqu'à disparition de l'auréole, l'on observe, dans le tube de Geissler, la disparition progressive du filet lumineux dévié, qui se transforme en un nuage lumineux violacé non stratifié, tendant à remplir toute la section du tube.

La seconde expérience, décrite par M. Pellat dans le Mémoire cité plus haut (tube dans un champ longitudinal non uniforme), s'explique d'ail-

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CXXXIV, p. 1046.

leurs sans hypothèse nouvelle en considérant que le flux de courant pouvant passer soit axialement sans couper le champ, soit en s'enroulant autour du champ, suit nécessairement le trajet de moindre résistance, c'est-à-dire le plus court.

M. Pellat ne croit pas que l'explication que vient de donner M. Villard, des phénomènes qu'il a observés quand la colonne anodique d'un tube de Geissler est placée perpendiculairement à un champ magnétique intense, puisse convenir. Si M. Villard avait pu suivre le détail de ses expériences, il n'aurait probablement pas proposé cette explication. Rien ne ressemble moins, en effet, à une décharge oscillante que la nébulosité que produit autour du filet un champ magnétique intense. Cette nébulosité ne se produit pas, dans le temps, à la suite du filet, mais conjointement avec lui; pour un champ déterminé, l'aspect reste indéfiniment le même; la nébulosité augmente en même temps que le champ magnétique, et ce n'est que pour des champs extrêmement intenses que le filet finit par disparaître.

Du reste, ce n'est pas cette expérience qui a convaincu M. Pellat de l'existence du phénomène nouveau qu'il a appelé *magnétofriction,* c'est celle dans laquelle le flux cathodique, s'échappant d'une cathode carrée, est placé dans un champ magnétique dont les lignes de force horizontales sont obliques à la direction primitive du faisceau cathodique : pour les champs faibles, le faisceau est dévié perpendiculairement au plan horizontal, vers le haut du tube, par exemple, conformément aux lois de l'Électromagnétisme; mais si l'on augmente progressivement l'intensité du champ, on voit l'image de la cathode carrée sur la paroi du tube descendre de plus en plus jusqu'à se fixer dans le plan horizontal sans que cette image tourne sensiblement sur elle-même, comme il le faudrait pour expliquer par l'enroulement autour des lignes de forces des rayons cathodiques le fait que ceux-ci finissent par suivre les lignes de forces du champ magnétique.

Dans la Communication faite la dernière fois, à la Société, M. Pellat a montré que la colonne anodique, elle aussi, est due au choc des corpuscules négatifs, ce qui fait qu'on peut énoncer les phénomènes de magnétofriction de la manière suivante :

Dans un champ magnétique intense, les corpuscules en mouvement (rayons cathodiques) *éprouvent quelque chose d'analogue à un frottement anisotrope considérable dans le sens perpendiculaire aux lignes de force et nul ou presque nul dans le sens de ces lignes.*

Tous les phénomènes que produit un champ intense sur les rayons cathodiques proprement dits, la gaine cathodique et la colonne anodique, sont d'accord avec cette loi, en particulier, celui qu'on observe en mettant un tube dans l'axe d'un électro-aimant, entre les pôles de celui-ci, la forme prise par le faisceau étant celle à laquelle conduit immédiatement la loi précédente.

M. Broca, à propos de ce que vient de dire M. Pellat, fait remarquer que si M. Pellat n'a pas vu les rayons qui s'enroulent autour du champ dans le cas des champs magnétiques puissants, c'est que son tube ne permettait pas de les voir. Il suffit d'avoir une cathode sphérique dont l'électrode soit enveloppée par un tube de cristal qui touche la sphère métallique pour voir sur celui-ci la fluorescence due aux rayons enroulés; elle est limitée à un espace d'autant plus petit que le champ magnétique est plus puissant, ce qui se comprend *a priori;* avec les tubes à écran diamé-

tral que M. Broca a fait construire il y a quelques années, on suit les phénomènes en détail.

M. Pellat fait remarquer que personne n'a pu expliquer, par les lois antérieurement connues, le phénomène fondamental qu'il a rappelé tout à l'heure et qu'il croit cette explication impossible : ce phénomène montre de la façon la plus frappante une action non encore signalée.

M. d'Arsonval présente, de la part du Dr Stéphane Leduc, de Nantes, une Note sur *la Cristallogénie*.

M. Leduc suit le travail de cristallisation en employant des solutions additionnées de colloïdes.

Les expériences démontrent que le phénomène de la cristallisation ne consiste pas seulement dans l'arrangement des molécules suivant des formes géométriques, mais encore *dans le mouvement des molécules des corps cristallisables, au sein des liquides de cristallisation, suivant des directions régulières et géométriques.*

L'aimantation et la magnétostriction des aciers au nickel; par MM. Nagaoka et Honda, présentée par M. Ch.-Ed. Guillaume. — MM. Nagaoka et Honda ont déterminé l'intensité d'aimantation de huit échantillons d'acier au nickel, de teneurs comprises entre 24 et 70 pour 100 de nickel.

Les barrettes, en forme d'ovoïdes de 20^{cm} de longueur et de 1^{cm} au plus grand diamètre, étaient placées dans une bobine de 30^{cm}, et leur action sur un magnétomètre était mesurée en compensant l'action propre de la bobine. Pour tous les échantillons, la saturation est promptement atteinte.

La courbe de la susceptibilité en fonction de la teneur part de 0, vers 25 pour 100, et monte rapidement jusqu'à 29 pour 100, où se trouve un maximum relatif, redescend et remonte jusqu'au maximum absolu vers 50 pour 100, pour redescendre ensuite régulièrement jusqu'à la susceptibilité du nickel.

Tous les échantillons étudiés s'allongent dans le champ; pour ceux de faible teneur en nickel, l'allongement en fonction du champ est graduel, tandis qu'il est plus rapide et atteint plus vite sa limite pour les échantillons à forte teneur. A partir de 50 pour 100, on constate un maximum peu accusé en fonction du champ. La courbe des allongements en fonction de la teneur pour un champ donné ressemble à la courbe de l'intensité d'aimantation, et présente le même plissement vers 29 pour 100.

Les changements de volume sont incomparablement plus grands que dans le fer ou le nickel. Ils sont sensiblement proportionnels au champ, et atteignent 50.10^{-6} du volume, au maximum, c'est-à-dire pour 29 pour 100 de nickel, dans un champ de 1 600 gauss.

MM. Nagaoka et Honda insistent sur la coïncidence d'une série de maxima des propriétés des aciers au nickel à la teneur de 29 pour 100, qui semble constituer un point caractéristique de ces alliages.

SÉANCE DU 20 MAI 1904.

PRÉSIDENCE DE M. C.-M. GARIEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 6 mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

Mlle DUBOIS (Hélène), Répétitrice à l'École normale de Sèvres;
MM. MANUEL DE JUSTO Y SANCHEZ BLANCO, Professeur à l'Ecole supérieure des Mines, à Madrid (Espagne).
FRICKER (Georges), Licencié en droit, à Enghien.

M. le PRÉSIDENT annonce que la Société a à déplorer une double perte. Depuis notre dernière réunion, M. MAREY, Membre de l'Institut, ancien Président, et M. SARRAU, Membre de l'Institut, Directeur des Poudres et Salpêtres, lui ont été enlevés. Le Président est particulièrement sensible à la mort de M. MAREY, qui fut son maître comme il l'a été et le restera de tous ceux qui s'occupent de Physique biologique.

Un des premiers il a introduit, dans les études biologiques, les méthodes précises des physiciens ; à ce titre, il peut être considéré justement comme un des fondateurs de la Physique biologique.

Expériences sur la polarisation rotatoire dans les biaxes. — M. DUFET expose à la Société les résultats expérimentaux obtenus jusqu'à présent sur l'existence de la polarisation rotatoire dans les cristaux biaxes, et ses mesures personnelles sur ce sujet. Il rappelle que le fait de la propagation sans altération d'une vibration circulaire dans la direction d'un axe optique, avec une vitesse différente suivant le sens de rotation, prévu théoriquement dans plusieurs Mémoires mathématiques, dus entre autres à Mac-Cullagh, Cauchy, Von Lang, plus récemment à W. Gibbs et à M. Chipart, a été pour la première fois vérifié expérimentalement par M. Beaulard, dans un cas un peu particulier, celui du quartz rendu biaxe par compression. En 1901, M. Pocklington a publié un Mémoire où se trouve rapportée une véritable méthode d'observation, grâce à l'emploi de la lumière convergente : dans un cristal biaxe doué du pouvoir rotatoire, les anneaux observés en lumière monochromatique, entre deux nicols, sur une plaque normale à un axe optique, sont traversés par une branche d'hyperbole qui n'est pas noire et le devient pour une rotation convenable d'un des nicols. M. Pocklington a ainsi trouvé que le sucre présentait pour ses deux axes des rotations contraires, de + 64° par centimètre pour l'un des axes, de — 22° pour l'autre et que le sel de Seignette potassique qui est orthorhombique donne une rotation de + 12°. En même temps M. Pocklington annonce que, avec un analyseur ou un polariseur circulaire, on obtient quelques tours d'une spirale.

M. Dufet a étendu ces observations à des cristaux trop biréfringents pour être étudiés par cette méthode; il suffit de remplacer, dans le microscope polarisant ordinaire, le *focus* très convergent qui donne à son foyer l'image réduite des courbes isochromatiques, par un objectif faible, et d'examiner ces courbes avec un microscope donnant un grossissement

convenable. Il retrouve, pour le sucre, les résultats de M. Pocklington, pour le sel de Seignette potassique, un nombre un peu plus fort + 13°,5. Dans le système orthorhombique, le sel de Seignette ammoniacal, droit en dissolution, donne, suivant les axes, une rotation *gauche* de — 15°,5 par centimètre ; le d.-méthyl-α-glucoside, qui est dextrogyre en dissolution, donne une rotation *droite* de + 44°. Dans le même système, des cristaux hémièdres, mais de nature inorganique, offrent un pouvoir rotatoire qui ne peut plus être attribué à la dissymétrie de la molécule, mais seulement à la structure cristalline : c'est le sulfate de magnésie ordinaire ($SO^4Mg + 7H^2O$) et le phosphate monosodique à 2mol d'eau ($PO^4H^2Na + 2H^2O$); le premier donne une rotation *gauche* de — 26° par centimètre, le second une rotation *droite* de + 44°,5.

Dans le système clinorhombique, M. Dufet a observé l'acide tartrique et le rhamnose. Le premier présente la dispersion horizontale et, par conséquent, le même pouvoir suivant les deux axes; la rotation est *gauche* et vaut — 114° par centimètre pour la lumière du sodium. En observant la rotation pour d'autres raies, Li et Tl, on trouve une dispersion tout à fait normale. Le rhamnose présente la dispersion inclinée, comme le sucre, et comme lui des rotations différentes pour les deux axes; la rotation est *gauche* et vaut — 129° pour un axe et — 54° pour l'autre. Ce corps étant peu biréfringent, l'observation du pouvoir rotatoire est très facile, l'hyperbole noire disparaît complètement au centre des anneaux, et la spirale obtenue avec un analyseur circulaire est régulière sur plus de 10 tours.

Théorie des aciers au nickel, par M. Ch.-Ed. Guillaume. — M. Guillaume rappelle d'abord les transformations caractéristiques des aciers au nickel, qui se traduisent pour les alliages à faible teneur en nickel par des changements irréversibles de leurs propriétés, savoir : A température descendante, apparition du magnétisme, augmentation du volume spécifique, diminution du module d'élasticité, dégagement de chaleur; à température ascendante, modifications inverses, dans une région de température beaucoup plus élevée que celle où se produisent les premières transformations. Pour les alliages à haute teneur, les phénomènes sont sensiblement réversibles; l'apparition du magnétisme à température descendante est accompagnée d'une diminution dans le taux de la contraction, d'une diminution du module d'élasticité, etc., phénomènes qui disparaissent sensiblement dans la même mesure lorsqu'on repasse par les mêmes températures.

A première vue, les propriétés réversibles et irréversibles semblent absolument distinctes; mais, en y regardant de plus près, on voit que les transformations sont de même nature et ne diffèrent que par l'hystérèse thermique des alliages à faible teneur. Une expérience de dilatation montre qu'en effet les transformations réversibles et irréversibles ne sont que deux modalités d'un même changement. Un alliage subissant successivement la transformation réversible et irréversible est plus dilatable après un refroidissement énergique qu'avant ce traitement. On en conclut que la transformation qu'il a subie une fois pour toutes empêche les transformations réversibles subséquentes, et, par conséquent, que ces transformations étaient de même nature que celle qui a été définitivement fixée par le froid.

Examinant ensuite les propriétés individuelles du nickel et du fer, M. Guillaume montre que, conformément aux idées de M. le Chatelier et de M. Osmond, les transformations de ce dernier métal se retrouvent dans l'alliage, considérablement déformées et déplacées dans l'échelle des températures. En fait, on peut considérer les aciers au nickel comme constitués par une dissolution mutuelle du fer et du nickel, dont l'état d'équilibre est une fonction de la température, fonction bien définie pour les alliages réversibles, ou fonction comportant un terme de frottement pour les irréversibles.

Les expériences de M. Ch. Maurain relatives aux couches de passage magnétiques permettent d'expliquer le fait que le fer, en faible quantité dans le nickel, subit toutes les transformations de ce dernier; mais, en les subissant, il apporte à l'ensemble les modifications qu'entraînent ses changements d'état. Cette théorie conduirait à penser que les aciers au nickel sont les seuls alliages possédant une forte anomalie de dilatation ou d'élasticité. Elle fait prévoir aussi l'existence, dans le passage de l'état β du fer à l'état γ, une brusque augmentation du module d'élasticité à température ascendante

Nouveau microphone, par M. Tariel. — La nouveauté de ce microphone réside dans une nouvelle fragmentation des agglomérés de charbon, ou corps similaires.

Par cette nouvelle fragmentation on obtient des *pellicules* de charbon. L'auteur entend par *pellicules* des fragments d'une épaisseur de $\frac{1}{10}$ et demi à $\frac{2}{10}$ de millimètre (et plus) et d'une hauteur et d'une largeur supérieures à 1^{mm}.

Pour obtenir ces pellicules il suffit de prendre des lames de charbon de l'épaisseur voulue, qui soient parfaitement planes et lisses; de les briser à la main, et de les passer dans un crible, dont les mailles laisseront tomber les particules inférieures à 1^{mm}.

Le reste de l'appareil microphonique est disposé de la façon suivante :

1° une électrode mobile constituée par une lame de charbon de la même épaisseur que les pellicules et où vient aboutir un des fils de la ligne téléphonique;

2° Une électrode fixe composée d'un bloc de charbon ajouré dans lequel viennent se placer les pellicules. Cette électrode repose sur une lame mince de charbon, où vient aboutir l'autre fil de la ligne téléphonique.

La distance qui sépare les deux électrodes est exactement de $\frac{1}{10}$ de millimètre. Le tout est solidement fixé dans une cuvette en ébonite.

Cette combinaison permet de réaliser les avantages suivants :

I. Grande sensibilité de l'appareil à cause de la présence de surfaces planes, légères, présentant de nombreux points de contact.

II. Diminution de la surface vibrante et suppression des corps isolants entre les deux électrodes (feutres, laine, papier, gutta-percha, etc.), corps qui alourdissent les vibrations.

III. Suppression de la polarisation, entre les corpuscules de charbon, si fréquente dans les appareils microphoniques à grenaille.

IV. L'appareil ne peut se bloquer, suivant l'expression consacrée, à cause de la dimension des pellicules, dimension supérieure à l'intervalle qui sépare les deux électrodes.

V. Diminution des arcs voltaïques.

En résumé, avec ce système, on peut construire un microphone, plus petit, plus léger, et dont la sensibilité est égale sinon supérieure à celle des autres.

En combinant, avec ce microphone, un petit récepteur, dont l'extrémité s'introduit dans le conduit auditif, on a un appareil microtéléphonique complet du poids de 27^g, se fixant à l'oreille au moyen d'un léger ressort, et susceptible de rendre de nombreux services.

SÉANCE DU 3 JUIN 1904.

PRÉSIDENCE DE M. H. DUFET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 20 mai est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. TARIEL, Docteur en Médecine, à Issy-les-Moulineaux (Seine).

M. le PRÉSIDENT annonce la perte douloureuse que la Société vient de faire en la personne de M. LEMESLE, Professeur à l'Ecole de Médecine d'Angers.

Sur les rayons cathodiques; par M. P. VILLARD. — En 1858 Plücker avait observé que, dans une ampoule à gaz raréfié placée dans un champ magnétique intense, la lumière négative se dispose de manière à figurer un tube de force. Récemment M. A. Broca a nettement établi que dans un champ magnétique puissant apparaissent des rayons cathodiques particuliers qui suivent les lignes de force magnétique, tandis que les rayons ordinaires, observables en même temps, s'enroulent autour du champ conformément aux lois connues.

Il est facile, soit par des dispositifs analogues à ceux décrits par M. Broca, soit autrement, de vérifier la coexistence des deux espèces de rayons. Le procédé le plus simple consiste à les produire dans l'oxygène pur qui s'illumine vivement sur le trajet des rayons. On observe ainsi très facilement l'existence simultanée de deux faisceaux, l'un enroulé suivant une spirale progressivement étalée par la dispersion, l'autre disposé suivant un tube de force; le phénomène peut être aisément photographié.

Ces rayons de seconde espèce, qu'on pourrait appeler *magnéto-cathodiques* pour rappeler les circonstances de leur production, produisent les mêmes effets de fluorescence que les rayons ordinaires; comme eux ils semblent alimentés par un afflux de matière arrivant à la cathode, car un obstacle, tel qu'un diaphragme à petite ouverture placé près de celle-ci, gêne leur émission; mais ils diffèrent franchement des rayons cathodiques proprement dits par plusieurs propriétés :

En premier lieu, le champ magnétique est pour eux non seulement directeur mais aussi moteur. Reprenant l'expérience du diaphragme à petite ouverture on constate que l'émission au travers de l'ouverture, nulle pour les rayons ordinaires, nulle aussi pour les rayons magnéto-cathodiques dans un champ modéré, se produit pour ces derniers, malgré cet obstacle, quand la force magnétique augmente suffisamment, et croît avec celle-ci; de même la fluorescence excitée sur le verre, et surtout la luminescence du gaz augmentent d'intensité avec le champ.

En second lieu, ces rayons ne sont pas électrisés : l'ombre d'un fil ne se modifie pas quand on fait varier de plusieurs centaines de volts le potentiel de ce fil (expérience de M. Perrin), tandis qu'avec les rayons ordinaires il suffit de 60 volts pour obtenir des effets très nets.

L'expérience du cylindre de Faraday, devenue classique depuis les travaux de M. Perrin, met nettement en évidence cette absence d'électri-

sation. Il faut seulement faire usage de diaphragmes convenables pour éliminer les rayons ordinaires dont la trajectoire est facile à prévoir, et il est commode de ne pas mettre en ligne droite la cathode, le diaphragme, et la petite ouverture de l'enceinte qui protège le cylindre de Faraday. Dans ces conditions, en l'absence de tout aimant l'électroscope n'accuse aucune déviation quand la cathode est en activité, ce qui permet de vérifier que l'appareil est électriquement étanche. On peut ensuite à volonté amener dans le cylindre soit les rayons ordinaires au moyen d'un aimant faible, soit les rayons magnéto-cathodiques dont on détermine la production par un champ intense, l'orientation de l'ampoule permettant de faire arriver les rayons exactement sur l'ouverture de l'enceinte qui protège le cylindre de Faraday : une poudre fluorescente (craie) recouvrant cette enceinte facilite le réglage de l'expérience. On observe dans ces conditions que l'arrivée des rayons ordinaires dans le cylindre de Faraday charge instantanément l'électroscope, tandis que les rayons magnéto-cathodiques ne produisent aucune divergence des feuilles d'or. Leur électrisation est donc nulle ou beaucoup moindre que celle des premiers.

Il est probable que cette électrisation est nulle et que ces rayons sont autre chose qu'électrisés. En effet, ils ne sont nullement insensibles à un champ électrostatique, mais cette sensibilité est d'une autre nature que celle des rayons cathodiques : Si l'on dirige un pinceau de rayons magnéto-cathodiques entre deux plateaux maintenus à des potentiels différents (écartement 8^{mm} à 10^{mm}, longueur 50^{mm}, diff. de pot. 250 à 500 volts) on observe une déviation très nette du faisceau, déviation dont le sens change avec le sens du champ électrique et avec celui du champ magnétique, mais *cette déviation a lieu perpendiculairement aux lignes de force électrique.* Pour un observateur regardant dans le sens du champ électrique, le champ magnétique et le sens de propagation des rayons étant dirigés de droite à gauche, les rayons s'enroulent autour des lignes de force électrique dans le sens des aiguilles d'une montre.

Cette déviation est bien due au champ et non au courant d'ionisation inévitable qui se produit entre les plateaux : ce courant, inférieur en valeur moyenne à 10^{-4} ampère, ne pourrait ajouter une composante appréciable au champ magnétique principal que s'il était oscillant ou intermittent, mais alors la déviation ne serait pas constante et l'on observerait un simple élargissement apparent du faisceau et de la tache fluorescente qui le termine. De plus, un courant instantané intense se traduit toujours dans un gaz par une illumination énergique, ce qui n'a pas lieu ici. On est bien en présence d'un phénomène nouveau, d'un courant d'espèce particulière sur lequel le champ électrique agit à angle droit comme agit un champ magnétique sur un courant électrique.

Il n'est donc pas nécessaire d'invoquer une hypothèse spéciale pour expliquer l'allure particulière de la décharge cathodique dans les champs intenses, puisqu'en réalité il se produit alors deux espèces de rayons, dont les propriétés électriques et magnétiques paraissent en quelque sorte réciproques.

Sur la polarisation des électrodes, par M. E. Rothé, présentée par M. Langevin. — Dans le travail qu'il a présenté récemment comme thèse de doctorat, M. Rothé s'est proposé, par l'étude détaillée du courant qui produit la polarisation d'électrodes métalliques plongées dans l'eau acidulée, de comparer entre elles les diverses théories qui en ont été données, et d'étudier les relations entre ce phénomène et l'électrolyse.

On sait que, pour des forces électromotrices inférieures à celles qui produisent l'électrolyse, le système des électrodes et de l'électrolyte se comporte en apparence comme l'ensemble de deux condensateurs couplés en

cascade, correspondant chacun à l'une des électrodes et dont les armatures, séparées par un intervalle extrêmement petit, seraient les deux faces d'une couche double séparant le métal du liquide. La somme des différences de potentiel produites par les deux couches doubles cathodique et anodique étant égale, une fois l'équilibre établi, à la force électromotrice extérieure. Il ne passe à travers l'électrolyte qu'un faible courant permanent, le courant de dépolarisation.

Quand la force électromotrice devient supérieure à la somme des différences de potentiel maxima que peuvent produire les couches doubles, le phénomène change et l'électrolyse se produit.

Cette conception simple implique tout d'abord une discontinuité entre les deux phénomènes de polarisation et d'électrolyse et suppose que la polarisation consiste uniquement dans une modification superficielle des électrodes.

M. Bouty, par l'observation du courant de décharge d'un voltamètre polarisé, beaucoup plus semblable, par l'existence de résidus à longue période, à celui d'un accumulateur que d'un condensateur, et M. Berthelot, à cause de la possibilité de combinaisons chimiques entre le métal des électrodes et les produits de décomposition de l'électrolyte, furent conduits à considérer comme insuffisante la notion du condensateur électrolytique, auquel on devrait d'ailleurs supposer une capacité variable avec la force électromotrice, et à supposer que la polarisation implique une modification en volume des électrodes, analogue à celle des plaques d'un accumulateur.

Cette notion est d'ailleurs en complet accord avec les idées de M. Nernst sur l'origine de la couche double, où un rôle fondamental est joué par une conception nouvelle, celle de *pression de dissolution*.

De même qu'un corps dissous doit, pour l'équilibre, se répartir entre deux milieux non miscibles de manière que le rapport de ses concentrations ou de ses pressions osmotiques dans les deux milieux soit constant, égal au coefficient de répartition de la substance entre les milieux, M. Nernst admet, pour les ions chargés présents dans l'électrolyte, une propriété semblable. Leur pression osmotique ne peut avoir une valeur finie P dans l'électrolyte au voisinage immédiat de l'électrode sans qu'ils soient présents en même temps dans la masse de celle-ci en quantité proportionnelle à P. Mais, en raison de la charge électrique portée par les ions, cette pression de dissolution P peut être différente de la pression osmotique p de ces mêmes ions dans la masse de l'électrolyte si une différence de potentiel V, proportionnelle à $\log \frac{P}{p}$, existe entre l'électrode et la solution, due aux ions chargés présents au voisinage de la surface, et ayant pour effet de s'opposer à la diffusion qui tend à égaliser la pression osmotique des ions entre les différentes régions du liquide. La valeur finie de la différence de potentiel V, due à la couche d'ions, implique une valeur finie de leur pression osmotique P au voisinage immédiat du métal et par suite dans la masse même de celui-ci, dans un rapport déterminé par le coefficient de répartition de la matière correspondante entre le métal et l'électrolyte. S'il s'agit d'hydrogène, par exemple, pour le métal employé comme cathode, la production de la couche double cathodique, au moment de la polarisation, implique dissolution d'hydrogène dans le métal en proportion variable avec sa nature et avec la force électromotrice employée; cette dissolution d'hydrogène correspond au passage d'un courant qui sera le courant de polarisation, l'hydrogène gazeux commençant à se dégager du métal pour produire l'électrolyse franche lorsque la concentration de cet hydrogène dissous dépassera celle qui peut être en équilibre avec de l'hydrogène gazeux sous la pression totale que supporte le voltamètre.

L'étude oscillographique faite par M. Rothé du courant de polarisation confirme l'existence d'une modification en volume de l'électrode. En employant deux électrodes de surfaces très différentes de manière qu'une seule d'entre elles soit appréciablement polarisée, il constate d'abord une dissymétrie très grande entre les variations du courant suivant que la petite électrode est anode ou cathode. Dans le cas de la polarisation cathodique du mercure, où les phénomènes sont particulièrement nets à cause de la grande vitesse avec laquelle l'hydrogène dissous se diffuse dans la masse de l'électrode, l'oscillographe donne un courant d'abord intense qui dure un temps très court, un premier palier dont la forme dépend uniquement de la *surface* de l'électrode, puis l'intensité diminue pour rester constante pendant un temps généralement plus long, donnant le *palier principal* de la courbe dont la longueur augmente avec le *volume* de l'électrode à surface égale. Enfin, le régime permanent établi, le courant tombe à une valeur très faible. Le premier palier paraît correspondre à une modification superficielle due à l'arrivée des ions hydrogène provenant du liquide, puis, pour l'équilibre, cette modification superficielle doit s'étendre à la profondeur par dissolution et diffusion progressive de l'hydrogène dans la masse, et le courant correspondant fournit le palier principal.

Les variations de l'allure des courbes avec la force électromotrice employée, la concentration des dissolutions, la nature du métal confirment entièrement cette manière de voir.

L'oscillographe, qui a été pour M. Rothé un auxiliaire précieux en permettant de suivre et d'analyser des phénomènes de quelques millièmes de seconde de durée, permettra, par des études approfondies, de pénétrer de plus en plus le mécanisme intime de la polarisation.

C'est également dans l'effet de volume qu'on trouve l'explication des *résidus* qui ne disparaissent qu'avec une extrême lenteur quand le voltamètre est mis en court-circuit; à cause de ces résidus, la capacité de polarisation d'un voltamètre dépend de l'état antérieur des électrodes et du temps pendant lequel elles ont été mises en court-circuit.

L'analogie entre le voltamètre et le condensateur ne peut donc être poussée très loin; l'effet de volume oblige à comparer aussi le voltamètre à une véritable pile secondaire.

La mesure du courant permanent qui traverse l'électrolyte, pour des forces électromotrices variables, a également prouvé la continuité qui existe entre la polarisation et l'électrolyse.

La force électromotrice minima pour laquelle se produit le dégagement de bulles gazeuses visibles peut, conformément aux idées précédentes, varier avec la disposition expérimentale, en particulier avec le rapport des surfaces des deux électrodes. Si l'une d'elles est de dimensions considérables par rapport à l'autre, la polarisation pourra être complète sur cette dernière, c'est-à-dire que le dégagement de bulles pourra s'y produire avant que l'autre soit sensiblement modifiée; on pourra ainsi avoir dégagement gazeux *sur une seule électrode* pour une force électromotrice égale ou supérieure à la force contre-électromotrice de polarisation de cette électrode seule, c'est-à-dire inférieure à celle qui produit le dégagement simultanément sur les deux électrodes et qui doit les polariser toutes deux.

Effectivement, un seul élément Daniell produit le dégagement d'hydrogène sur un fil fin de platine quand l'anode est une large lame alors qu'il faut 1,7 volt pour décomposer l'eau. Ce dégagement cesse quand la lame anodique s'est polarisée à son tour, par absorption d'oxygène, mais il suffit de la sortir et de la chauffer dans une flamme pour détruire la modification et retrouver le dégagement gazeux sur le fil de platine quand on immergera de nouveau l'anode.

SÉANCE DU 17 JUIN 1904.

PRÉSIDENCE DE M. C.-M. GARIEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 3 juin est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. LAMPA, Privat docent à l'Université de Vienne (Autriche)
RAMON DIAZ MAROTO, Profesor de la Escuela de Ingenieros industriales, à Madrid (Espagne).

M. BOUTY appelle l'attention de la Société sur le haut intérêt que présentent, indépendamment de toute théorie, les expériences de M. Rothé, sur la polarisation des électrodes et la continuité de la polarisation et de l'électrolyse.

Sur la déviation électrostatique des rayons magnétocathodiques; par M. FORTIN. — Quand on place un tube de Crookes en activité dans un champ magnétique progressivement croissant, on voit d'abord les rayons cathodiques s'enrouler en hélice autour du champ magnétique, suivant les lois connues; puis, brusquement, pour une certaine valeur du champ, on voit apparaître des rayons qui dessinent le tube de force magnétique issu de la cathode. M. Villard a montré que ces rayons, auxquels il a donné le nom de *rayons magnétocathodiques,* ne paraissent pas transporter de charges électriques, et que, *dans un champ électrostatique perpendiculaire à leur direction, ils sont déviés perpendiculairement à ce champ électrique.*

L'interprétation de ces faits est difficile; mais, quelle que soit la nature vraie des rayons magnétocathodiques, on peut montrer qu'ils se comportent vis-à-vis du champ électrostatique comme le feraient des rayons cathodiques ordinaires enroulés autour des lignes de force magnétique en hélice de rayon très petit.

Soit, en effet, une particule cathodique de masse m et de charge $-e$, passant à l'origine des coordonnées au temps o, avec une vitesse u_0, v_0, w_0. Supposons-la placée à la fois dans un champ magnétique uniforme H, dirigé suivant Oz, et dans un champ électrostatique uniforme F, dirigé suivant Ox. Elle subit une force électrostatique parallèle à Ox, de projections $-Fe$, o, o, et une force électromagnétique perpendiculaire à Oz, de projections $He\frac{dy}{dt}$, $-He\frac{dy}{dt}$, o. Les équations différentielles de son mouvement sont donc

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{He}{m}\frac{dy}{dt} - \frac{Fe}{m}, \qquad \frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{He}{m}\frac{dx}{dt}, \qquad \frac{d^2z}{dt^2} = 0.$$

L'intégration fournit les équations de la trajectoire

$$\begin{cases} x = \dfrac{m}{He}\sqrt{u_0^2 + \left(\dfrac{F}{H} - v_0\right)^2}\,\sin\left(\dfrac{He}{m}t + \varphi\right) + \dfrac{m}{He}v_0 - \dfrac{m}{He}\dfrac{F}{H}, \\ y = \dfrac{m}{He}\sqrt{u_0^2 + \left(\dfrac{F}{H} - v_0\right)^2}\,\cos\left(\dfrac{He}{m}t + \varphi\right) - \dfrac{m}{He}u_0 + \dfrac{F}{H}t, \\ z = w_0 t, \end{cases}$$

avec

$$\operatorname{tang}\varphi = \frac{\dfrac{F}{H} - v_0}{u_0}.$$

Cette trajectoire est tracée sur un cylindre circulaire oblique. Dans le plan xOy, la base est un cercle dont le centre a pour coordonnées

$$\frac{m}{He}v_0 - \frac{m}{He}\frac{F}{H}, \qquad -\frac{m}{He}u_0.$$

Les génératrices sont perpendiculaires au champ électrique Ox et font avec le champ magnétique Oz un angle θ défini par

$$\operatorname{tang}\theta = \frac{F}{Hw_0}. \tag{1}$$

Or, s'il n'y avait pas eu de champ électrostatique, la trajectoire aurait été tracée sur un cylindre circulaire droit, de génératrices parallèles à Oz, la base dans le plan xOy étant un cercle dont le centre aurait eu pour coordonnées

$$\frac{m}{He}v_0, \qquad -\frac{m}{He}u_0.$$

Le rayon, sensiblement confondu avec l'axe du cylindre, reste donc rectiligne. Le champ électrostatique lui fait subir une translation parallèle au champ :

$$T = -\frac{m}{He}\frac{F}{H},$$

et une rotation θ dans un plan perpendiculaire à ce champ.

La formule (1) montre que la rotation est proportionnelle au champ électrostatique, en raison inverse du champ magnétique, et qu'elle change de sens en même temps que chacun d'eux. Tout cela est d'accord avec les observations de M. Villard sur les rayons magnétocathodiques. Le sens de la déviation est aussi conforme à la règle trouvée expérimentalement.

Enfin la concordance subsiste également pour l'ordre de grandeur des phénomènes. En adoptant les données suivantes :

$$F = 1000 \text{ volts par centimètre}, \qquad H = 200 \text{ gauss},$$

on trouve

$$T = 1^{mm}, \qquad \operatorname{tang}\theta = \tfrac{1}{10}.$$

Ces nombres sont bien de l'ordre de grandeur indiqué par l'expérience.

Il faut remarquer que, dans cet ordre d'idées, il n'y aurait pas identité complète entre la déviation magnétique d'un rayon cathodique ordinaire et la déviation électrostatique d'un rayon magnétocathodique. En effet, un rayon cathodique rectiligne placé dans un champ magnétique uniforme perpendiculaire à sa direction se recourbe en arc de cercle. Au contraire, un rayon cathodique spiral placé dans un champ électrostatique perpendiculaire à sa direction ne subirait qu'une espèce de réfraction à son entrée dans le champ électrique, accompagnée d'une petite translation parallèle au champ, et il continuerait ensuite à s'y propager en ligne droite.

Des considérations analogues peuvent être développées relativement à la formation même des rayons magnétocathodiques. Je me réserve de revenir ultérieurement sur ce sujet.

M. P. Villard reconnaît que cette théorie aurait le grand avantage d'expliquer sans hypothèse nouvelle la déviation électrique des rayons magnétocathodiques et leur grande analogie avec les rayons cathodiques; peut-être y aurait-il lieu d'admettre que les corpuscules, au lieu de décrire des trajectoires hélicoïdales, tournent simplement sur eux-mêmes pendant leur marche; on rendrait ainsi mieux compte de l'absence complète de transition entre les deux espèces de rayons; mais une grosse difficulté se présente, au moins provisoirement : le champ magnétique a évidemment sur les rayons en question une action qui n'est pas seulement directrice; le potentiel de décharge s'abaisse notablement, les rayons X produits augmentent beaucoup d'intensité avec le champ. D'autre part, les rayons magnétocathodiques ne paraissent pas être électrisés. L'auteur se propose néanmoins de réaliser, en raison de l'intérêt qu'elle présente, l'expérience relative à la forme de la trajectoire dans un champ électrique.

Appareil pour le nettoiement automatique et continu du mercure; par M. A. Turpain.

M. Berlemont présente, au nom de M. Turpain, un nouveau dispositif d'appareil pour nettoyer le mercure.

L'appareil est construit de telle façon que le mercure traverse en gouttelettes fines un premier récipient contenant de l'acide azotique dilué et de l'azotate de mercure, où il se trouve purgé de ses impuretés; ensuite il passe dans un second récipient qui contient de l'acide sulfurique pur, où il est déshydraté, puis enfin dans un troisième récipient qui contient de la otasse pour neutraliser l'acide.

Le mercure, tombant ensuite dans un flacon inférieur, est rappelé au sommet de l'appareil au moyen d'un remontage automatique, fonctionnant au moyen de la trompe à eau, et repasse à nouveau dans les trois récipients. Au bout d'un certain temps de cette manœuvre automatique, le mercure est suffisamment propre et sec pour pouvoir être employé à différents usages en Physique. L'appareil est facilement démontable pour que le nettoyage puisse se faire aisément.

Étude et comparaison des procédés de réduction de l'hystérésis magnétique; par M. Ch. Maurain. — M. Cotton présente, au nom de M. Maurain, les résultats d'expériences sur *L'étude et la comparaison des procédés de réduction de l'hystérésis magnétique.* Les courbes d'aimantation obtenues à champ magnétisant croissant ou décroissant sont différentes et forment la boucle d'hystérésis bien connue. En superposant à l'action du champ magnétisant une action auxiliaire, on peut réduire et même supprimer complètement l'hystérésis, c'est-à-dire obtenir une courbe d'aimantation réversible, la même à champ croissant ou décrois-

sant. Quelques physiciens ont déjà obtenu des courbes de ce genre : M. Ewing, par l'action des chocs; MM. Franklin et Clarke, par l'action d'un champ alternatif superposé au champ magnétisant. Mais ils n'ont expérimenté que sur des échantillons de fer et chacun par une seule méthode.

M. Maurain s'est proposé de chercher si plusieurs procédés de réduction de l'hystérésis, appliqués au même noyau magnétique dans les mêmes conditions, donnent la même courbe d'aimantation: si l'expérience avait répondu affirmativement, on aurait obtenu ainsi une courbe normale d'aimantation définissant l'intensité d'aimantation comme fonction du champ magnétisant.

Il a commencé par étudier les conditions où réussit l'application des différents procédés suivants :

1° *Procédés où l'action auxiliaire est électromagnétique.* — A, Champ alternatif de même direction que le champ magnétisant, et de fréquence ordinaire (70 à 80). — B, Courant alternatif parcourant le fil étudié, c'est-à-dire champ magnétique transversal, de fréquence ordinaire. — C, champ oscillant, de fréquence 10^6 à 10^7. — D, courant oscillatoire, du même ordre de fréquence, parcourant le fil.

Toutes ces actions électromagnétiques doivent être mises en jeu *à intensité décroissante* après chaque variation du champ magnétisant ; on doit d'abord leur donner une amplitude dépendant de la nature du noyau magnétique, puis faire décroître cette amplitude jusqu'à o, pour que la seule action qui s'exerce à la fin soit celle du champ magnétisant actuel. A et B peuvent s'appliquer à des échantillons de fer ou d'acier (non trempé) assez épais, la localisation superficielle du champ ou du courant alternatif étant peu prononcée à cette fréquence ; C et D sont plus énergiques et réussissent même avec l'acier trempé, mais ne peuvent s'appliquer qu'à des échantillons très minces, à cause de la localisation superficielle, intense à ces fréquences.

2° *Actions mécaniques.* — On n'a pu obtenir la réduction à peu près complète de l'hystérésis, par des chocs, que pour deux tiges de fer doux assez épaisses.

En appliquant alors successivement ces divers procédés aux mêmes échantillons, on obtient des courbes réversibles qui ont la même allure, c'est-à-dire qui montent rapidement à partir de l'origine et ne présentent pas de point d'inflexion, mais *qui sont nettement différentes ;* elles se placent dans le même ordre pour tous les échantillons étudiés : C donne la courbe la plus élevée ; puis D, un peu au-dessous de C ; puis B et enfin A. Quant aux courbes correspondant aux actions mécaniques, elles n'ont pu être comparées qu'aux courbes A et B, les procédés C et D ne s'appliquant pas aux tiges correspondantes à cause de leur épaisseur ; elles sont, pour les deux tiges étudiées, confondues matériellement avec les courbes A, les courbes B étant d'ailleurs plus élevées.

Le fait que les courbes d'aimantation réversibles obtenues par différents procédés sont différentes enlève l'espoir de définir ainsi expérimentalement une courbe normale d'aimantation et montre la complexité des phénomènes rassemblés sous le nom de *phénomènes d'hystérésis magnétique.*

Sur la mesure des longueurs d'onde, par M. A. Pérot. — Au sujet des travaux récents faits sur la mesure des longueurs d'ondes, M. Pérot indique combien la notion de longueur d'onde devient complexe lorsqu'il s'agit de raies à composantes, étant donné que ces composantes semblent varier, tout au moins d'intensité, lorsqu'on modifie la source qui émet les

radiations. Il semble, actuellement, que la composante principale conserve une longueur d'onde déterminée, et dès lors que, toutes les fois que l'on devra indiquer des longueurs d'onde avec un nombre de chiffres significatifs un peu élevé, il faille s'adresser à des appareils spectroscopiques capables de séparer ces composantes, ou tout au moins à des appareils qui, par le mécanisme interférentiel qu'ils comprennent, ne permettent la mesure de la longueur d'onde que lorsque les composantes les plus fortes sont réunies à la raie principale.

Il indique, en quelques mots, combien est intéressante l'étude des interférences produites par les franges de lames argentées à grande différence de marche, et combien il semble important d'étudier comment se présente un train d'ondes lumineuses.

Enfin, se basant sur les derniers résultats obtenus par M. Hamy, comparés à ceux que M. Fabry et lui-même avaient obtenus autrefois à Marseille, il croit pouvoir dire que la longueur d'onde de la raie du cadmium, donnée il y a quelques années par MM. Michelson et Benoît, retrouvée depuis par M. Chapuis, est une quantité parfaitement déterminée, et qu'il en est de même des raies complexes : que s'il est vrai que leur constitution est peut-être liée à la source, l'opérateur est maître de les reproduire à son gré, toujours identiques à elles-mêmes, en se replaçant dans des conditions expérimentales identiques.

Il conclut en insistant sur ce dernier point, et en montrant que, si cette condition est observée, on peut constituer, avec la longueur des radiations lumineuses, des étalons métrologiques fixes, et que dès lors on peut, en valeur absolue, déterminer la longueur d'onde des radiations émises par les différents corps dans différentes circonstances, soit qu'il s'agisse de la longueur des différentes composantes, soit qu'il s'agisse de la longueur d'onde moyenne.

SÉANCE DU 1er JUILLET 1904.

PRÉSIDENCE DE M. C.-M. GARIEL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 juin est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. DESCHAMPS (Dr J.-J.), Licencié ès Sciences physiques et ès Sciences mathématiques, à Paris.

M. LE PRÉSIDENT annonce la perte douloureuse que la Société vient de faire en la personne de M. Albert RILLIET, Professeur à l'Université de Genève (Suisse).

Cohésion diélectrique de la vapeur de mercure de l'argon et de leurs mélanges, par M. E. BOUTY. — Après avoir rappelé la notion de *cohésion diélectrique* et le dispositif général de ses expériences, M. Bouty résume ses recherches relatives à l'argon, à la vapeur de mercure et à leurs mélanges avec d'autres gaz.

1. Les recherches sur l'argon ont pu être poursuivies grâce à l'extrême obligeance de MM. Moissan et Rigaut, que M. Bouty tient à remercier d'une manière toute particulière.

L'argon pur possède une cohésion diélectrique exceptionnellement faible. La moindre trace d'impureté relève beaucoup cette cohésion. En même temps, la lueur d'effluve passe d'un blanc bleuté très vif à une nuance indécise, d'aspect sale. La mesure de la cohésion diélectrique est un réactif de la pureté de l'argon, de sensibilité comparable à celle de l'analyse spectrale.

Dans le spectre de l'argon pur, on remarque deux beaux groupes de raies bleues particulièrement sensibles à la présence d'impuretés. $\frac{1}{2}$ pour 100 d'acide carbonique suffit à les rendre indistinctes; en même temps, les bandes du carbone apparaissent comme un voile diaphane sous lequel on distinguerait le spectre de l'argon.

Les premiers échantillons d'argon que M. Bouty a eus entre les mains contenaient une trace imperceptible d'ammoniaque. En refroidissant ce gaz à très basse température, il observa que la cohésion diélectrique à volume constant se maintenait invariable jusqu'à — 20°; puis, de — 20° à — 50°, tombait rapidement à une valeur sensiblement moitié moindre qu'elle conservait ensuite, sans altération, jusqu'à — 100°. Cet ensemble de circonstances pouvait porter à penser qu'il existait deux variétés d'argon stables, l'une au-dessus de — 20°, l'autre au-dessous de — 50°; mais la comparaison de la marche du thermomètre à argon à celle d'un thermomètre à toluène n'indiquait aucune variation de densité dans l'intervalle où se serait accomplie la transformation, et le gaz, refroidi hors de l'appareil de mesure, présentait, dès la température ordinaire, la faible cohésion diélectrique et le grand éclat d'effluve qu'il n'offrait auparavant qu'au-dessous de — 50°. En refroidissant dans l'air liquide une grande quantité de cet argon, M. Moissan ne put recueillir qu'une seule goutte d'un liquide alcalin absolument insuffisante pour se prêter à une évaluation quantitative.

L'échantillon d'argon le plus pur dont M. Bouty ait pu disposer avait une cohésion diélectrique près de sept fois plus faible que celle de l'hydrogène.

2. Pour étudier la vapeur de mercure, monoatomique comme l'argon, il était nécessaire de pouvoir opérer au-dessus de 200°. Mais, à cette température, le cristal le plus dur possède déjà une conductibilité suffisante pour rendre inapplicable la méthode de mesure. L'auteur a eu recours à un ballon de silice de la maison Heraeus. Des expériences préliminaires, exécutées sur l'air, ont montré que, tout au moins jusqu'à 300°, l'invariabilité de la cohésion diélectrique à volume constant peut être considérée comme absolue. On pouvait donc, en toute sûreté, opérer, pour le mercure, à des températures variables comprises entre 100° et 260° et ramener toutes les pressions à une température uniforme, pour rendre les résultats comparables à ceux que l'on a obtenus avec les autres gaz.

Ces expériences n'ont soulevé aucune difficulté exceptionnelle. Elles ont fixé la cohésion diélectrique de la vapeur de mercure à une valeur égale aux 0,85 de celle de l'air. Eu égard à la densité considérable de la vapeur de mercure, cette cohésion peut passer pour remarquablement petite, ce qui rapproche la vapeur de mercure de l'argon.

Les effluves, dans la vapeur de mercure, sont éblouissantes. L'addition de petites quantités d'un gaz étranger diminue beaucoup leur éclat et la cohésion diélectrique du mélange est supérieure à celle que l'on calculerait par la loi des moyennes, comme dans le cas de l'argon; mais les écarts sont incomparablement plus faibles. La mesure de la cohésion diélectrique de la vapeur de mercure est un réactif relativement peu délicat de sa pureté.

Il était particulièrement curieux de savoir si les mélanges d'argon et de vapeur de mercure se comporteraient autrement que les mélanges d'argon et d'un gaz polyatomique quelconque. Il n'en est rien. L'argon est aussi sensible à la présence de la vapeur de mercure qu'à celle de toute autre impureté. M. Bouty a observé que, dans le spectre de l'argon, à la température ordinaire, les raies du mercure ont une intensité tout à fait comparable à celle des raies propres de l'argon, bien que la pression de la vapeur de mercure ne soit que de $\frac{1}{50}$ de millimètre, lorsque celle de l'argon est de 20^{cm} par exemple.

Le principal intérêt de ces expériences réside dans le lien qu'elles paraissent établir entre la cohésion diélectrique et la nature du spectre. Quand un gaz impose ses raies, il impose aussi sa cohésion diélectrique, c'est-à-dire que la cohésion s'écarte de la valeur prévue par la loi des moyennes en se rapprochant davantage de la cohésion propre au gaz dont le spectre domine.

M. Bouty pense que la théorie des ions ne pourra rendre compte des faits qu'il signale, sans englober une théorie de l'émission spectrale. Quelques physiciens ont déjà tenté, dans cette voie, des essais remarquables, qui méritent d'être suivis.

Sur la propagation de la phase des vibrations et sur les interférences au voisinage d'une ligne focale, par M. G. Sagnac [1].

1. *Nouveau mode d'observation et photographie du phénomène de M. Gouy.* — On éclaire par une source linéaire une lentille cylindrique de spath d'Islande dont une face est plane et parallèle à l'axe du cristal; la lentille est placée entre deux nicols. Quand la ligne lumineuse source est bien parallèle aux génératrices de la lentille, on observe des franges d'interférence rectilignes, parallèles à ces génératrices et non localisées. Si la frange centrale est noire à la sortie de l'analyseur, elle est grise entre la ligne focale ordinaire et la ligne focale extraordinaire, images de la fente données par la lentille biréfringente. La frange centrale est de nouveau noire au delà de la ligne focale extraordinaire. Avec le concours de M. F. Pellin, M. Sagnac montre ces trois aspects de la frange centrale sur un petit écran blanc. La source lumineuse est une fente éclairée par la lumière blanche parallèle d'une lampe à arc. La lentille est associée à une lame de spath d'Islande parallèle à l'axe du cristal et de section principale croisée avec celle de la lentille, ce qui permet, en particulier, d'annuler la biréfringence sur la frange centrale et d'observer en lumière blanche une frange centrale noire si les nicols sont croisés.

Le long d'un écran fixe presque parallèle à l'axe du faisceau, on peut observer le resserrement de ce faisceau à une ligne focale et la différence d'aspect du centre d'interférence de part et d'autre du point de resserrement du faisceau.

En lumière verte, en plaçant ainsi une plaque photographique inclinée de 4° sur l'axe du faisceau, M. Sagnac obtient une photographie du phénomène de M. Gouy. Il montre à la Société une épreuve positive, agrandissement d'un négatif obtenu ainsi dans la région de la ligne focale ordinaire.

2. *Étude de la propagation de la phase des vibrations lumineuses jusqu'à une ligne focale.* — En réduisant le diamètre apparent transversal de la ligne lumineuse, vue de la lentille, et la largeur de la lentille

---

[1] Suite de la communication du 5 mai 1903.

de spath, comptée perpendiculairement aux génératrices de la lentille, M. Sagnac rend les franges observables, sans interruption, à toute distance; aux lignes focales elles-mêmes il observe encore les franges, soit directement à la loupe, soit sur les clichés photographiques agrandis.

La transformation du centre d'interférence à la traversée de la ligne focale se montre alors; elle est progressive et se fait sur une étendue extrêmement grande par rapport à la longueur d'onde (plusieurs centimètres par exemple). La théorie de la diffraction sur l'axe du système s'accorde avec les résultats numériques obtenus en opérant avec une lumière suffisamment monochromatique (verre vert).

Il faut tenir compte non seulement de la variation de la différence de phase des vibrations ordinaire et extraordinaire qui interfèrent sur l'axe du système, mais encore des variations inégales de leurs amplitudes. On explique ainsi les résultats suivants : quand les nicols sont croisés, la frange centrale, noire à la sortie de l'analyseur, devient grise, puis brillante avant la ligne focale ordinaire, pour redevenir grise au delà ; quand les nicols sont parallèles, la frange centrale brillante à la sortie de l'analyseur est encore brillante sur la ligne focale ordinaire et devient progressivement grise au delà.

3. M. Sagnac signale l'intérêt général de l'influence des inégales variations d'amplitude de deux ou plusieurs vibrations interférentes. Il rattache à cette influence le mécanisme cinématique de la propagation anomale de la phase des vibrations au voisinage d'un centre d'ébranlement source d'ondes complètes.

4. M. Sagnac indique comment, en excitant des rides liquides à l'aide d'une pointe vibrante placée en un foyer d'un contour elliptique complet qui réfléchit les rides, on peut étudier la propagation de ces ondes linéaires complètes au voisinage du second foyer de l'ellipse.

SÉANCE DU 18 NOVEMBRE 1904.

PRÉSIDENCE DE M. D'ARSONVAL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er juillet est lu et adopté.

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société les pertes douloureuses qu'elle a faites pendant les vacances : M. *Jeunet*, ancien Professeur de Physique, M. *Lespiault*, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux, et M. *Joseph Thimont*, ancien Élève de l'École Normale supérieure, Professeur à l'Ecole Sainte-Geneviève, au Collège Stanislas et à l'École Lacordaire.

Baromètre enregistreur; par M. ALBERT JAGOT. — L'une des particularités essentielles de ce baromètre, c'est qu'il pourra être établi à un prix hors de proportion avec le prix le plus bas de ceux qui existent. Sa construction est, en effet, fort simple; il comporte un baromètre à mercure, à siphon différant peu du modèle ordinaire; l'appareil enregistreur con-

siste en une simple tige de fer portant un crayon et reposant sur le mercure; un tambour sur lequel est enroulé le papier et un fléau équilibré complètent le système. Le moteur est un mouvement de pendule à très bon marché auquel il n'y a, sans le modifier, qu'à ajouter quatre engrenages d'un modèle courant.

Les variations de hauteur du mercure sont enregistrées directement sans amplification; la hauteur barométrique indiquée sans prendre la différence des deux niveaux est à très peu près exacte, parce que le rapport entre le diamètre de la cuvette et celui du tube est environ $\frac{10}{1}$; il en résulte qu'une variation de 1^{mm} dans le tube se traduit par une variation de $\frac{1}{100}$ de millimètre dans la cuvette, c'est-à-dire que la variation de 730 à 780 ne produit qu'une différence totale de $0^{mm},5$ pratiquement négligeable. Le tube, dans ce but, porte, du côté de la chambre du vide, une cuvette de 35^{mm} de diamètre environ et le flotteur se déplace dans la courte branche qui ne mesure que $3^{mm},5$ environ.

Le crayon n'est en contact avec le papier que pendant 3 minutes à peine et il en reste écarté pendant 9 minutes environ, de manière à ne pas entraver les variations du mercure. De 12 en 12 minutes, la pointe du crayon se rapproche du papier avec percussion et la courbe est tracée par une suite de points qui forment à l'œil nu une ligne continue.

La Stéréoscopie sans stéréoscope; par M. J. Violle. — La sensation du relief résulte de la vision binoculaire. Pour la produire artificiellement il suffit de présenter à chacun des deux yeux, séparément, une image telle qu'il l'aurait pu voir lui-même. Tout le monde sait comment deux photographies d'un même objet, prises de deux points de vue distincts et examinées au stéréoscope, font voir cet objet en relief. On a cherché de différentes manières à s'affranchir du stéréoscope. M. Gaumont a rapporté de Saint-Louis les très curieuses photographies que j'ai l'honneur de mettre sous les yeux de la Société et qui donnent remarquablement la sensation du relief.

Voici comment M. Ives obtient ce résultat :

Devant sa plaque photographique, à l'intérieur de la chambre noire munie de deux objectifs convenablement agencés, il dispose un gril présentant 100 barres au pouce, soit à très peu près 4 barres au millimètre (les barres étant un peu plus larges que les vides), et il place ce gril à une distance telle que chaque bande étroite de la plaque, sur laquelle une barre projette son ombre relativement à la lumière venant de l'objectif de droite, reçoit au contraire librement les rayons venant de l'objectif de gauche et *vice versa*.

Il se forme donc sur la plaque deux systèmes de hachures parallèles, très serrées : 8 hachures au millimètre, correspondant alternativement les unes à l'image donnée par l'objectif de droite, les autres à l'image donnée par l'objectif de gauche. Chaque système constitue une image nette, mais dont les traits sont sur presque toute la surface entrecroisés avec ceux de l'image sœur.

Pour voir séparément chacune des images et la voir de l'œil seulement auquel elle est destinée, il suffit de regarder la photographie à travers un gril semblable à celui qui a servi à l'obtenir, en se plaçant de façon que ce gril cache à l'un des yeux les hachures d'un même ordre de parité, mais les laisse voir à l'autre et *vice versa*.

Vous pouvez juger de l'excellence du résultat.

L'interposition d'un gril, ou, comme disent les photographes, d'un réseau déjà indiqué par M. A. Berthier (*Cosmos*, mai 1896) comme propre à donner le relief stéréoscopique, a été aussi utilement appliquée à la solution de plusieurs problèmes intéressants. Elle conviendra encore certainement dans d'autres cas.

M. Javal fait observer que, dans son *Manuel du Strabisme,* il a décrit un gril, qui lui sert à provoquer le rétablissement de la vision stéréoscopique chez les strabiques. Il s'y trouve également divers *tests* de la vision binoculaire fonctionnant sans le secours du stéréoscope. Si M. Javal fait une seconde édition de ce livre, il pense y ajouter une épreuve analogue à celles qui viennent d'être décrites par M. Violle.

Étalon à acétylène, par M. Ch. Féry. — M. Ch. Féry a cherché à réaliser, dans cet étalon, un appareil peu sensible aux variations de longueur de la flamme, dues aux variations possibles de pression du gaz qui l'alimente.

Le gaz acétylène brûle à l'extrémité d'un tube de verre capillaire ou d'un bec en stéatite donnant une flamme cylindrique, longue de 25^{mm} à 30^{mm}. L'image de cette flamme est faite en vraie grandeur par une première lentille sur une seconde lentille recouverte d'un écran percé d'une fente horizontale de largeur variable.

La seconde lentille ayant un foyer double de la première, donnerait l'image de cette dernière à l'infini.

Le système fournit donc un faisceau conique de rayons ayant son sommet au centre optique de la seconde lentille et produisant un éclairement uniforme sur la surface du photomètre qui le reçoit.

L'appareil est disposé de manière à utiliser la région de la flamme voisine du tiers de sa hauteur totale; c'est en effet à cet endroit qu'est situé le maximum d'éclat. On conçoit que dans ces conditions une variation de la flamme ne donne qu'une variation beaucoup plus faible du point ayant le maximum d'éclat, et ne produise en conséquence que des changements d'éclairement inappréciables sur l'écran photométrique.

En réalité, si l'on trace la courbe des éclairements obtenus en fonction de la hauteur de la flamme, on voit que cette courbe passe par un maximum, au voisinage duquel l'appareil se montre peu sensible à cette cause de variation.

On se sert d'un volet mobile limitant la largeur de la fente qui couvre la seconde lentille pour ajuster l'étalon, de manière à lui faire donner une fraction connue de Carcel.

Dans des limites assez étendues, l'intensité obtenue est à peu près proportionnelle à la largeur de la fente :

Largeur de la fente mm	Intensité lumineuse.
3	0,59 Hefner
4	0,82 »
5	1,09 »
6	1,36 »
7	1,58 »
8	1,80 »
9	1,89 »

Malgré cette faible intensité lumineuse l'étalon permet de réaliser des éclairements de l'ordre de la Carcel mètre, car, étant donnée la petitesse de la surface éclairante, il peut être placé beaucoup plus près du photomètre que la Carcel dont la flamme mesurant 4^{cm} de hauteur exige, pour que les mesures soient correctes et la loi de l'inverse du carré encore applicable, une distance minima supérieure à 1^{m}.

Le débit horaire étant de 7^{l}, un petit générateur spécial muni d'un gazomètre de 20^{l}, ou une bombe d'acétylène dissous permet d'alimenter aisément l'étalon pour des expériences de quelque durée.

SÉANCE DU 2 DÉCEMBRE 1904.

PRÉSIDENCE DE M. H. DUFET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 18 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BOUDIN, Professeur au Collège de Normandie;
LORIN, Professeur au Lycée de Nevers;
ROY (Georges-Eugène), Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences de Dijon.

M. le PRÉSIDENT annonce la perte douloureuse que la Société vient de faire en la personne de M. *Macé de Lépinay*, Agrégé de l'Université, Professeur à la Faculté des Sciences de Marseille, ancien Membre du Conseil de la Société de Physique.

Les travaux de M. Macé de Lépinay ont tous eu pour but l'étude de l'Optique, et plus particulièrement l'application des phénomènes d'interférence à la mesure des longueurs, utilisant ainsi les propriétés micrométriques d'un rayon lumineux, indiquées et employées d'abord par Fizeau.

Au début, l'interférence d'ordre peu élevé des deux rayons qui ont traversé un cristal lui fournit une méthode qu'il applique au quartz, après une étude préalable de sa double réfraction. Puis, les indices étant connus avec une précision suffisante, il aborde l'interférence directe du rayon qui a traversé la lame avec celui qui a traversé l'air. C'est à la longueur d'onde du sodium qu'on rapporte les épaisseurs mesurées. Il en fait une détermination précise en la rattachant directement au système métrique.

La découverte de radiations très simples, puis leur mesure à la suite des travaux de MM. Michelson et Benoît, lui permettent de résoudre le problème inverse : la détermination de la masse spécifique de l'eau. Il mesure alors des épaisseurs de 4^{cm}, dimensions d'un cube de quartz, et utilise encore les franges de Talbot.

La nécessité de s'affranchir complètement de la connaissance de l'indice lui fait imaginer d'employer, dans une disposition toute nouvelle, et cette fois en lumière monochromatique, l'interférence des rayons qui ont traversé la lame et l'air d'une part, et celle des rayons qui ont traversé deux fois la lame. Ici, l'ordre d'interférence dépasse 300000. La méthode est appliquée à deux cubes de quartz de 4^{cm} et de 5^{cm} d'arête.

C'est alors que la mort vint frapper M. Macé de Lépinay en pleine production scientifique, avant l'achèvement de ses travaux, que son collaborateur de ces dernières années, M. Buisson, se propose de terminer.

Cette brève énumération suffira peut-être à indiquer l'unité de son œuvre, qui s'est poursuivie pendant près de 30 ans dans la même direction, avec une admirable continuité d'efforts. Elle ne pourra dire quelles étaient la loyauté de son caractère et sa bonté, que seuls ont pu apprécier ceux qui ont vécu près de lui.

Sur les actions chimiques de la lumière, par M. P. VILLARD. — L'auteur a repris l'expérience d'Ed. Becquerel sur les *rayons continuateurs* et a reconnu : 1° que le phénomène est assez intense pour donner un effet

très marqué sur un papier sensible (au chlorure et azotate d'argent) ayant subi une exposition préalable d'un quart de seconde à la lumière du ciel, et qu'on peut ainsi développer un positif par la lumière jaune après une dizaine de secondes d'exposition sous un cliché (cette continuation doit être faite sous des verres jaunes et verts en plein soleil); 2° que l'effet continuateur est absolument subordonné à la présence d'un composé soluble d'argent (azotate d'argent dans le cas des papiers sensibles pour positifs par noircissement direct). Ce qui se produit est un véritable développement, comparable à l'ancien développement à l'acide gallique et azotate d'argent. (Toutefois l'acide gallique permet de révéler une image après fixage, ce que ne fait pas la lumière jaune.) D'ailleurs, la lumière jaune accélère le développement à l'acide gallique et azotate d'argent, ou au chlorure d'or pur. (Ce dernier agirait, mais lentement, à l'obscurité.)

Une plaque au chlorure ou bromure d'argent impressionnée fortement, puis traitée par l'azotate d'argent et la lumière jaune, se développe aussi par effet continuateur, plus rapidement que les papiers, parce qu'on opère dans un liquide: mais l'image est peu intense et cette intensité paraît dépendre uniquement du grain de l'émulsion. Les meilleures plaques pour cette expérience sont les plaques presque transparentes dites *pour tons chauds*.

L'effet continuateur est très intense dans le vert et le jaune moyen ; il cesse un peu au delà de D dans l'orangé. Dans le rouge apparaît un autre phénomène plus général, celui de la destruction de l'image, destruction entrevue par Ed. Becquerel (renversement de la raie A). Il résulte de là que, pour avoir un bon développement de positif par continuation, il faut employer des verres jaunes et verts (le verre vert arrête, outre le rouge, la bande de violet que laissent souvent passer les verres jaunes). Si l'on essaie de faire la continuation sous des verres jaune et rouge clair, les demi-teintes de l'épreuve sont en partie détruites.

Si l'on traite par un révélateur les papiers sensibles soumis à la continuation, on constate les effets suivants :

1° Avec des révélateurs physiques, tels que l'acide gallique et l'azotate d'argent, le révélateur a prise sur l'image de continuation (il aurait prise sur une image fixée) et celle-ci prend une avance considérable sur une image témoin non continuée. Cependant, cette dernière finit par la rattraper, l'image qui se forme fournissant autant de points d'attraction pour l'argent en voie de réduction dans le bain.

2° Avec les révélateurs sans argent (hydroquinone, pyrocatéchine, etc.), l'image non continuée se développe au moins aussi vite que l'autre, et cette dernière n'a d'autre avance que celle qui résulte de la présence d'une image inerte, autrement dit le révélateur n'a prise que sur l'image latente. Or, celle-ci a été en partie détruite par la lumière jaune ou orangée. On peut facilement obtenir que l'image continuée soit, après développement, plus faible que l'autre ; il suffit que la pose soit courte et la continuation par suite peu intense.

Avec les plaques au gélatinobromure ou gélatinochlorure d'argent, l'effet destructeur subsiste seul, et l'analogie avec ce qui se passe pour les rayons X est complète. Pour le chlorure d'argent, la destruction commence vers D et se prolonge bien au delà de A, jusque vers $\lambda = 900$.

Après destruction, la plaque a recouvré presque intégralement sa sensibilité.

Dans le cas du bromure d'argent, la destruction, d'ailleurs assez rapide (1 à 2 heures de pose dans un spectroscope à 2 prismes; fente de $1^{mm},5$; lampe Nernst de 60 bougies), commence seulement vers A et se prolonge dans l'infra-rouge comme pour le chlorure. La limite infra-rouge paraît être la même que pour les plaques traitées par les rayons X.

Le phénomène de la destruction de l'image se produit aussi avec les

papiers pour noircissement direct (chlorure et azotate d'argent); il est assez intense pour faire disparaître une image visible; ses limites sont les mêmes que pour les plaques au gélatinochlorure; mais, si l'on fait agir un mélange de rayons jaunes et orangés, on aura à la fois destruction de l'image latente et même disparition des demi-teintes d'une épreuve, et en même temps continuation des parties le plus impressionnées. La destruction de l'image latente peut alors se constater avec un révélateur alcalin.

L'expression de *rayons chimiques* ne devrait donc pas être réservée aux seuls rayons bleus et violets : tous les rayons du spectre sont *chimiques*, révélateurs ou destructeurs; les rayons bleus et violets sont, au contraire, à peu près seuls capables de produire l'excitation particulière qui s'appelle l'*image latente,* cette dernière bien différente d'une image visible faible comme le montre l'action des divers révélateurs, comme le prouvent également d'autres expériences qui feront peut-être l'objet d'une communication ultérieure.

M. A. Guébhard, tout en rendant hommage au très grand intérêt des faits observés par M. Villard, croit devoir s'élever contre l'appellation de rayons *continuateurs* ou *destructeurs* donnée à des rayons dont l'action, superposée à une autre antécédente, aboutit au même effet fatal de *continuation* et d'*inversion* qu'aurait produit, identique, la prolongation soit de l'action interrompue, soit de la leur propre. *Toutes* les radiations susceptibles d'impressionner une surface sensible, qu'il s'agisse de lumière quelconque (Vogel, 1878), ou de chaleur (Hunt, 1842), ou de rayons X (Villard, Sagnac, 1899), ou même d'émanations (Moser, 1842), agissent dans le même sens, et peuvent, *à l'intensité près,* c'est-à-dire en tenant compte de leur coefficient spécifique, se substituer les unes aux autres, dans un ordre quelconque, pour pousser au delà de son maximum, vers un minimum voisin de zéro, la courbe qui représente, en fonction du temps, pour chaque intensité d'action, la valeur de la réaction photographique, manifestée, sur les sels d'argent, par leur noircissement. M. Guébhard se propose de montrer, dans une prochaine communication, combien facilement se résolvent, par les graphiques synthétiques de la fonction photographique, toutes les contradictions de langage ou confusions d'idées auxquelles ont donné naissance des observations insuffisamment précisées de cas d'inversion.

M. Villard pense qu'il n'est pas indifférent de substituer de l'infra-rouge à du violet et que le terme *destruction* paraît le seul indiqué pour désigner un phénomène dans lequel on ne constate jamais autre chose que l'effacement progressif de l'impression produite par du violet : si l'on traite par le rouge extrême ou l'infra-rouge une plaque légèrement voilée par du violet ou des rayons X, on ne voit nullement l'impression atteindre son maximum pour décroître ensuite, mais bien décroître immédiatement, et revenir à zéro d'autant plus vite qu'elle était plus faible. Il ne peut d'ailleurs y avoir inversion, l'infra-rouge n'agissant pas sur une plaque neuve, surtout au chlorure d'argent. En outre, la plaque ainsi traitée est restaurée et recouvre sa sensibilité tandis que personne ne songerait à faire une photographie avec une plaque exposée à la lumière blanche jusqu'à solarisation complète. Enfin, avec les papiers sensibles pour noircissement direct, l'*extrême rouge peut effacer une image visible,* d'autant plus vite que cette image est plus faible. Si l'on faisait agir du violet le papier noircirait sans inversion jusqu'à épuisement du sel sensible.

Sur les ions de l'atmosphère, par M. P. Langevin. — On sait que la décharge des corps électrisés par les rayons de Röntgen ou ceux des corps actifs résulte d'une action des rayons sur le gaz qu'ils traversent, et que le phénomène se représente de la manière la plus simple et la plus complète

si l'on admet que chaque élément de volume du gaz traversé par le rayonnement peut fournir des quantités égales et limitées d'électricités de signes contraires, capables de se mouvoir le long des lignes de force du champ créé dans le gaz pour aller décharger les corps électrisés qui produisent ce champ. Si aucun champ n'existe, la modification subie par le gaz disparaît lorsque les rayons ont cessé d'agir, par recombinaison progressive des charges libérées, et le gaz revient à l'état initial.

Les charges ainsi libérées dans le gaz sont réparties entre un nombre fini de centres ou ions, portant tous la même charge égale à celle que transporte un atome monovalent dans l'électrolyse. Les phénomènes de condensation de la vapeur d'eau sursaturante en présence des gaz conducteurs apportent à cette conception une confirmation éclatante, en permettant de saisir individuellement les ions qui agissent comme des germes pour la formation des gouttes, et de mesurer la charge électrique portée par chacun d'eux; les meilleures mesures donnent pour cette charge élémentaire $3,4 \times 10^{-10}$ unités électrostatiques C.G.S.

Le déplacement des ions sous l'action d'un champ électrique X se fait avec une vitesse kX proportionnelle au champ, en raison de la résistance opposée par le gaz; le coefficient k, la *mobilité* des ions étant de l'ordre de 1^{cm} par seconde pour un champ de 1 volt par centimètre (1,4 pour les positifs et 1,8 pour les négatifs dans l'air sec, dans les conditions normales). Cette mobilité conduit à admettre que ces ions sont constitués par une agglomération d'une dizaine de molécules du gaz maintenues par attraction électrostatique autour du centre électrisé qui porte la charge de l'ion.

A côté de ces petits ions produits par les radiations il existe, dans les gaz où se sont produites les réactions chimiques, une conductibilité due à la présence de gros ions, très peu mobiles, véritables gouttelettes chargées. Dans le cas, étudié par M. Bloch, de l'air qui a passé sur du phosphore, la mobilité de ces ions est voisine de $\frac{1}{3000}$ de centimètre par seconde pour 1 volt par centimètre et conduit à leur attribuer, en les supposant sphériques, un diamètre de $\frac{1}{100}$ de micron, c'est-à-dire l'épaisseur de la tache noire des bulles de savon. A la température ordinaire il ne semble pas exister de manière permanente d'ions de grosseur intermédiaire entre ceux-ci, contenant environ un million de molécules, et les petits ions signalés plus haut. Les gros ions agissent pour condenser la vapeur d'eau même lorsque celle-ci est simplement saturante.

Les travaux d'Elster et Geitel, de C.-T.-R. Wilson ont montré que l'atmosphère possède de manière permanente une conductibilité analogue à celle que produisent les radiations, due à de petits ions que libèrent les substances radioactives dont la présence constante dans l'atmosphère est aujourd'hui démontrée. Le phénomène anciennement connu de la déperdition de l'électricité est lié à cette présence d'ions dans l'atmosphère, d'où résulte, vers le corps chargé, un afflux d'ions de signe contraire au sien. On peut montrer cet afflux en reprenant, sous une forme différente, une expérience de M. Perrin [1] : si l'on couvre la boule d'un électroscope chargé d'un chapeau de paraffine, celui-ci arrête les charges qui viennent vers l'électroscope et prend en quelques minutes une charge opposée à celle des feuilles d'or, tandis qu'il devrait prendre une charge de même signe si la déperdition était due à un phénomène de convection par répulsion de particules qui se seraient chargées au contact de la boule. La charge prise par la paraffine lui vient de l'atmosphère, puisqu'il suffit de la couvrir d'un chapeau métallique pour qu'elle cesse de se charger. Cette conductibilité permanente de l'air me semble fournir l'explication la plus

---

(1) J. Perrin. *Ann. de Chim. et de Phys.*, 7e série, 1897, p. 531.

simple des phénomènes signalés récemment par MM. Crémieu et Malclès [1], au moins lorsqu'il n'y a pas contact entre conducteurs et isolants.

L'étude de cette conductibilité permanente de l'atmosphère est importante, soit au point de vue de la présence de radioactivité, soit au point de vue des phénomènes météorologiques, puisque la présence d'ions dans l'air et leur rôle dans la formation des nuages ont permis, pour la première fois, de donner une explication cohérente des phénomènes d'électricité atmosphérique.

On a employé jusqu'ici deux méthodes : Elster et Geitel ont proposé de suivre la déperdition d'un cylindre chargé surmontant un électroscope; mais il semble difficile de préciser la signification de ces mesures, la déperdition devant varier beaucoup avec les circonstances, en particulier avec la manière dont se fait le renouvellement de l'air.

Ebert a proposé de mesurer la charge disponible, le nombre d'ions contenu dans un volume connu d'air, en faisant passer celui-ci dans un tube portant, suivant son axe, une électrode chargée reliée à un électroscope. De la chute des feuilles d'or on peut déduire la charge disponible par centimètre cube d'air. M. Langevin poursuit, depuis le mois de mai dernier, des expériences de ce genre au sommet de la tour Eiffel; il en donnera ultérieurement les résultats qui conduisent, en moyenne, au chiffre de 1000 ions de chaque signe par centimètre cube, comme M. Ebert l'avait trouvé en Allemagne.

Il lui a paru nécessaire de s'assurer, par des expériences de laboratoire, de la signification des mesures ainsi faites et il a été conduit à chercher comment se répartissent, dans l'atmosphère, les ions entre les diverses mobilités, alors que les mesures faites jusqu'ici dans l'air n'ont porté que sur les petits ions de grande mobilité.

Si n est la densité en volume des charges, négatives par exemple, disponibles dans l'air, la fraction de ces charges, portée par les ions de mobilités comprises entre k et $k + dk$, sera

$$dn = f(k)\,dk;$$

le problème consiste à déterminer la fonction $f(k)$.

M. Langevin utilise, pour le résoudre, la méthode des courants gazeux en faisant passer par seconde un volume U d'air dans un condensateur cylindrique de capacité C chargé sous la différence de potentiel V. Les ions présents dans le gaz ne sont pas tous recueillis dans le condensateur si le débit U est suffisamment grand pour en entraîner une partie, et le rapport $\frac{di}{dI}$ du courant obtenu sur l'armature intérieure au courant maximum dI que l'on obtiendrait si tous les ions de mobilité k étaient recueillis, est donné par

$$\frac{di}{dI} = k\,\frac{4\pi CV}{U}.$$

Quand il existe des ions de mobilités diverses, on obtient facilement le résultat suivant : si l'on construit une courbe en portant en abscisses la quantité

$$x = \frac{4\pi CV}{U},$$

---

(1) V. Crémieu et L. Malclès, *Comptes rendus*, 14 novembre 1904, p. 790.

et en ordonnées l'intensité i mesurée par un électromètre, on a :

$$f\left(\frac{1}{x}\right) = -\frac{x^3}{U}\frac{d^2 i}{dx^2},$$

c'est-à-dire qu'il existe des ions de mobilité k si la courbe tracée présente une courbure au point d'abscisse $x = \frac{1}{k}$. Les mesures ont été faites avec des appareils différents pour examiner les portions de la courbe qui correspondent aux grandes et aux petites mobilités. Pour obtenir des résultats cohérents, il est nécessaire de prendre les précautions suivantes : pour les faibles valeurs de x (grandes mobilités), il est essentiel d'éviter tout champ électrique dans la région que traverse le gaz avant son entrée dans le condensateur cylindrique, pour que les ions très mobiles ne soient pas en partie recueillis par ce champ. De plus, quand on établit une différence de potentiel élevée sur le condensateur cylindrique, on obtient d'ordinaire, même en l'absence de courant d'air, un courant électrique dont l'intensité augmente rapidement avec le voltage (à peu près comme le cube) et qui correspond à un effet de convection produit par les poussières entre les armatures. Cet effet disparaît complètement si l'on enduit de mélasse, pour coller les poussières, les surfaces des deux armatures.

Ces précautions prises, les résultats obtenus avec les divers appareils concordent absolument pour montrer sur la courbe *deux* régions de forte courbure, l'une correspondant aux mobilités voisines de 1^{cm} par seconde (petits ions) et l'autre aux mobilités voisines de $\frac{1}{3000}$ (gros ions) *avec ceci de remarquable que la charge totale portée par l'ensemble de ces derniers peut être cinquante fois supérieure à celle portée par les petits et seule mesurée jusqu'ici.*

Il sera intéressant de poursuivre ces expériences au sommet de la tour Eiffel, par exemple, dans une atmosphère moins chargée de poussières que celle voisine du sol de Paris.

M. Langevin attribue la production des gros ions observés à la présence de gouttelettes ou poussières électriquement neutres, ayant un diamètre voisin du centième de micron et pouvant résulter de l'évaporation de gouttes d'eau ; les ions produits par les radiations viennent par diffusion charger ces gouttelettes et donnent de gros ions. Il a pu établir la théorie de cette diffusion et prévoir différents résultats que l'expérience semble confirmer entièrement.

M. V. Crémieu fait observer que l'explication donnée par M. Langevin de l'apparition des charges réactives dans les diélectriques solides, explication basée sur les ions de l'atmosphère, ne peut expliquer tous les détails de l'apparition de ces charges. D'ailleurs, l'objection de M. Langevin avait été faite, sous diverses formes et par plusieurs physiciens, à MM. Crémieu et Malclès. Les expériences de vérification faites semblent toutes écarter l'explication tirée de l'électricité atmosphérique, et M. Crémieu pense, par suite, que les charges réactives proviennent d'un phénomène interne des diélectriques.

En second lieu, M. Crémieu rappelle à M. Langevin un certain nombre d'expériences anciennes de Coulomb, Matteucci et Gaugain, et des expériences récentes de Crémieu, et de Crémieu et Pender. Toutes montrent que l'isolement d'un conducteur chargé est bien meilleur lorsque ce conducteur passe de l'immobilité dans l'air à un mouvement quelconque.

M. Crémieu estime que ces faits d'expériences semblent difficiles à expliquer avec les hypothèses ionistiques.

SÉANCE DU 16 DÉCEMBRE 1904.

PRÉSIDENCE DE M. D'ARSONVAL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 2 décembre est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. W. DUDDELL, Ingénieur à Londres (Angleterre).

M. le PRÉSIDENT annonce la perte douloureuse que la Société vient de faire en la personne de *M. E. Delaurier*.

MM. GAY, GIRARDET et VIEILLE sont élus membres de la Commission chargée de vérifier les comptes de l'année.

M. le PRÉSIDENT annonce que le rapport de la Commission des comptes sera envoyé à tous les Membres de la Société et que l'on votera sur son adoption à la séance du 20 janvier 1905.

Sur la fonction photographique dans ses rapports avec les phénomènes d'inversion, par M. A. GUEBHARD. — Quand on passe en revue, depuis Daguerre, les nombreux cas observés d'*inversion* des actions radiographiques (en prenant ce dernier terme dans son sens le plus étendu : lumière, chaleur, émanations, rayons X, etc.), l'on est frappé de la multiplicité des interprétations contradictoires qui en ont été données. Or il suffit, en photographie, de mettre en compte, comme variable principale, une valeur toujours tacitement traitée comme constante indifférente, celle de la surexposition (*voilage*) mise en jeu, pour voir rentrer immédiatement tous les cas dans la loi commune qui lie à l'énergie de l'excitation les manifestations de la sensibilité physique de surface, comme celles de la sensibilité physiologique : loi de *fatigue,* qui montre la réponse au stimulus, un instant attardée au voisinage du zéro, bientôt monter suivant une formule de proportionnalité, puis se ralentir aux approches d'un maximum relatif plus ou moins étalé, et, de là, retomber vers un zéro, assez lointain pour que ses au delà n'aient pu encore être sûrement précisés.

Or, quelle que soit encore (après les observations de Janssen, Abney, A. et L. Lumière, Stolze, Michalke, Hurter et Driffield, Bouasse, etc.) l'incertitude expérimentale sur la forme précise de la courbe des impressions en fonction soit des énergies excitatrices, soit de leurs modalités, le fait seul de l'existence d'un maximum entre les zéros de départ et d'aboutissement explique comment toutes les expériences faites au voisinage de ce maximum (ainsi que c'est toujours le cas, en photographie, lorsque intervient un voilage de la surface sensible) peuvent donner tantôt des apparences de *continuation,* si, restant en deçà du maximum, elles poussent les ordonnées à s'en approcher, tantôt des effets d'*état neutre* (voile noir) lorsqu'on arrive au plateau, ou d'*inversion* lorsqu'on le dépasse, et, enfin, de pseudo-*destruction* dans l'approche finale du zéro. Toute intervention d'énergie additionnelle peut, suivant l'instant relatif de son application,

et de son aboutissement, avant ou après le changement de signe de la dérivée, jouer successivement le rôle *excitateur, continuateur* ou soi-disant *destructeur*. Mais la possibilité, expérimentalement établie, de substitutions mutuelles et d'interversions d'ordre, prouve qu'il n'y a jamais d'action *négative* et que, d'un bout à l'autre du spectre, entre autres. ainsi que le proclamait avec insistance Edm. Becquerel, il n'y a ni spécialisations, ni surtout antagonismes d'actions, mais de simples variations de coefficients d'intensité.

Or, les données expérimentales actuellement acquises montrent que si l'on réunit en tableau les courbes représentatives des intensités d'impression en fonction du temps, pour des excitations diverses, chaque courbe, après être montée, et puis retombée, d'autant plus vite qu'elle correspond à une intensité plus grande, recoupe aussi, d'autant plus près, sa voisine, en donnant ainsi, à tout instant, l'image des progrès de l'*inversion* avec le temps, suivant le groupe de courbes en jeu. On comprend tout de suite, par exemple, comment les impressions de spectres sur plaques voilées donnent, à la place exacte du seul maximum vrai, un faux minimum dû à l'inversion de l'action du violet, tandis que, de part et d'autre, les radiations extrêmes, lentement agissantes par superposition de leur faible énergie à celle du voilage de renfort, font naître la fausse apparence de deux maxima sans fixité. Il n'est pas un des nombreux faits cités depuis l'origine de la photographie, jusqu'à M. Villard, qui ne s'explique immédiatement de la même façon, sans recours à d'autres circonstances, purement accessoires. La seule condition, pour cela, est de ne rien négliger dans l'estimation de la somme des énergies utilisées, et particulièrement (quand on n'a pas eu soin d'en faire une constante d'expérience, ainsi que cela est rendu facile par la pratique du développement lent portant simultanément sur plusieurs plaques impressionnées elles-mêmes par échelons) l'énergie chimique surnuméraire empruntée aux bains liquides, et surtout au développateur, qui peut, à lui seul, d'après les dernières recherches de M. Guébhard, compenser par son activité ou sa durée le défaut d'intensité ou de durée de l'excitation lumineuse.

Mais, de quelques expériences où l'aléa de l'emploi de clichés quelconques, exposés de manière quelconque à une quelconque lumière diffuse, se double de temps de bain quelconques, quelles conclusions, autres que quelconques, est-il possible de tirer? Ce n'est qu'en rendant rigoureusement comparables et répétables toutes les conditions expérimentales, pour ne laisser varier systématiquement que les seules grandeurs à étudier, qu'on arrivera à préciser davantage des données générales encore purement schématiques, mais déjà suffisamment sûres pour servir de guide à un plan de recherches, applicable, avec au moins autant d'utilité, à une revision des actions phosphoroscopiques que des actions photographiques de la lumière.

M. P. Villard pense que les très intéressants résultats exposés par M. Guébhard rendent bien compte de ce qui se passe (développement alcalin compris) quand on emploie des radiations lumineuses dont chacune peut, à elle seule, impressionner la surface sensible. mais que l'extension aux phénomènes de continuation et de destruction ne paraît pas justifiée. Dans ces deux cas, on fait intervenir, en effet, des radiations qui, en dehors de toute impression préalable, seraient rigoureusement inactives pendant la durée de l'expérience (infra-rouge, par exemple). Il n'est pas indifférent ici de remplacer une radiation par une autre, comme dans les expériences de M. Guébhard, ou de changer l'ordre dans lequel on les fait agir.

Voici quelques exemples :

1° On prend du papier sensible ordinaire pour noircissement direct (papier salé passé à l'azotate d'argent); ce papier peut être exposé 10 ou

12 heures au soleil sous de bons verres jaunes ou rouges sans donner d'impression décelable, même par un révélateur.

On impressionne très légèrement ce papier par la lumière du ciel pendant un temps très court (*un quart de seconde* suffit sous un cliché parfaitement limpide; en papier noir découpé, par exemple).

On fait agir ensuite la lumière jaune bien pure. Les parties impressionnées noircissent (seules, bien entendu). C'est l'expérience célèbre d'Ed. Becquerel. En réalité, la lumière jaune a simplement développé l'image avec l'aide de l'azotate d'argent; on aurait pu remplacer cette lumière par de l'acide gallique, et la suppression de l'azotate d'argent supprime la continuation. Mais les rayons jaunes n'ont pas produit d'impression véritable, car un révélateur alcalin est absolument indifférent au renforcement produit par la lumière jaune et développe aussi vite une image témoin non continuée.

Il est évident que si l'on renversait l'ordre de l'expérience, ce serait comme si l'on voulait développer un papier avant de l'avoir impressionné.

Si l'on remplace le jaune par du rouge ou de l'infra-rouge, l'image disparaît au lieu de se renforcer, et le papier traité par un révélateur quelconque, acide gallique, révélateur alcalin, ou *lumière jaune*, ne donne plus rien. L'action destructive du rouge extrême est d'ailleurs telle qu'il *efface directement une image visible* (20 à 30 secondes d'impression préalable sous un cliché).

Si au lieu des rayons jaunes ou rouges on avait pris des rayons bleus, on aurait simplement noirci le papier et le quart de seconde d'avance donné à l'image préalable passerait inaperçu. Il va sans dire que la lumière bleue ne ramènera pas le papier au blanc. (Pour le noircissement direct il n'y a jamais solarisation et une plaque au gélatinobromure d'argent, exposée au soleil, continue à noircir de plus en plus, alors que pour le révélateur elle est déjà solarisée.)

2° Une plaque au gélatinochlorure d'argent est faiblement impressionnée en lumière blanche ou violette (sous-exposition). En l'absence d'azotate d'argent on ne peut constater aucun effet continuateur par la lumière jaune, mais le rouge et l'infra-rouge détruisent l'image comme pour le papier. Dans le même temps ces radiations ne donneraient rien sur une plaque non impressionnée.

De plus, la sensibilité est si exactement restaurée qu'une comparaison très précise est nécessaire pour trouver une différence.

3° Une plaque au bromure d'argent donne le même résultat, mais il faut employer le rouge extrême et l'infra-rouge (A solaire et au delà). Les verres rouges sont insuffisants.

4° Une plaque au bromure d'argent est voilée, sur une moitié, par les rayons X. On l'enveloppe dans quatre feuilles de papier noir épais et on l'expose ainsi à la lumière d'un bec Auer derrière un cliché découpé dans une feuille métallique. Au bout de 5 à 6 heures il y a une image par destruction sur la moitié voilée, et absolument rien sur l'autre moitié. L'action de l'infra-rouge est encore destructive et, comme plus haut, rigoureusement subordonnée à l'existence d'une impression préalable. En opérant en ordre inverse, on aurait simplement le voile ordinaire dû aux rayons X.

5° Un écran au platinocyanure de baryum qui est absolument insensible à la lumière devient au contraire sensible si on le soumet d'abord aux rayons X. Ces derniers transforment le sel en un composé brun que la lumière ramène à l'état de platinocyanure ordinaire [1], détruisant ainsi l'impression produite par les rayons X. Ici l'antagonisme est tout à

---

[1] On peut recommencer l'expérience autant de fois qu'on veut avec le même écran.

fait frappant. Il convient aussi de remarquer que les rayons X ne pourraient être remplacés ici par la lumière.

Dans toutes ces expériences les rayons qu'on fait agir en second lieu seraient à eux seuls incapables d'impressionner la substance sensible (c'est indiscutable pour la dernière expérience); ils ne peuvent donc ajouter simplement une impression qu'ils seraient inaptes à produire. Les résultats sont en outre entièrement différents suivant la radiation choisie et l'ordre dans lequel on fait succéder les deux actions. Rien dans tout cela ne ressemble aux phénomènes d'inversion ou de solarisation.

Sans vouloir le moins du monde critiquer les travaux de M. Guébhard et les conclusions si claires qui s'en dégagent, l'Auteur considère donc que ces conclusions sont étrangères aux effets de continuation (ou mieux de développement) et au phénomène visiblement général de la destruction d'une image par une radiation convenablement choisie.

M. Guébhard, regrettant de voir maintenir, et même aggraver, par M. Villard une logomachie contre l'abus de laquelle ne cessa de protester celui qu'on en rend souvent responsable, Edm. Becquerel, maintient formellement que tous les cas de *continuation* ou *destruction* cités par M. Villard sont, à son avis, également justiciables de la formule générale ci-dessus rappelée, et point de telle ou telle circonstance purement secondaire.

Dans tous se constate la superposition d'une forme d'énergie à une autre, et rien ne démontre qu'à équivalence de sommes d'énergie, le même effet n'eût pu s'obtenir avec d'autres radiations, qu'il importerait cependant beaucoup plus de convenablement doser que de « convenablement choisir », étant loisible de s'adresser à n'importe laquelle, fût-ce à la *continuation* de la première en jeu. Il est vrai que l'appréciation de ces équivalences, déjà difficile en l'état de la Science, est rendue impossible dans des expériences où se mêlent, sans mesures, tant de variables qu'il semble au moins téméraire d'attribuer à l'une, plutôt qu'à l'autre, des résultats forcément communs. Les interventions chimiques ne peuvent que masquer l'action propre des radiations, quoique leur rôle relativement secondaire et la possibilité de leur interversion (ne peut-on, sur une plaque mise au bain sans impression, produire le noircissement, d'abord, puis le retour au blanc, par une action *a posteriori* de la lumière, fût-ce à travers le carreau jaune ou l'écran presque monochromatique du bain rougi?) soient démontrés par la multiplicité des procédés, n'ayant de commun que le voilage, usités depuis Bayard pour les *positives directes* sur papier.

En thèse générale, de deux impressions d'apparence également faible, celle-là seule peut, sans croître d'abord, être « détruite » par une excitation nouvelle, d'ailleurs quelconque, qui, par elle-même, était déjà en voie de déclin, ayant outrepassé son maximum; l'autre, réellement faible, pourra bien être *détruite* aussi, mais seulement après une période de croissance, qui peut échapper à l'observation, comme échappe couramment, dans le bain développateur, le foncement qui précède le retour au blanc des plages directement noircies par solarisation; c'est, d'ailleurs, cette période qu'utilisaient les contemporains de Daguerre pour demander aux verres rouges les effets doucement continuateurs que M. Villard attribue aux jaunes, d'autres aux bleus, et Ed. Becquerel, très justement, à toutes les radiations, en notant que, même en phosphorescence, l'extinction par le rouge est presque toujours précédée de surexcitation. Becquerel aussi insiste sur ce que l'infra-rouge dont il a observé *directement* des impressions spectrales, possède, à l'intensité près, la même faculté d'« excitation » que le violet. Comment concilier d'ailleurs les propriétés destructives qu'on attribue au rouge, avec le rôle tutélaire qu'on lui demande dans toutes les opérations du laboratoire en bravant souvent inconsidérément la loi du carré des distances, et l'action directe des radiations obscures? Et enfin,

si ces mêmes rayons rouges, dans la lumière blanche, agissaient en vrais antagonistes des autres, n'aurait-on pas, depuis longtemps, trouvé, dans leur élimination, une facile solution du double problème de l'achromatisme et de la vitesse de pose?

De très petites doses de blanc opèrent les mêmes effets « continuateurs » que de grandes de jaune ou de très grandes de rouge; et les uns et les autres sont si peu *absolument subordonnés* à la présence d'azotate d'argent, que la première observation en fut faite sur plaque daguerrienne, simplement iodée. S'il est connu que le blanc, avec ou sans jaune, se *continue* lui-même, il est non moins certain que, par cette seule continuation, avec ou sans rouge, il arrive à se « détruire ». Une exposition de quelques secondes au grand soleil est de pratique courante, pour produire, si absurde que cela paraisse à M. Villard, le même *effacement* que réalisent péniblement de longues heures de rouge plus ou moins vrai.

La plaque, après cette opération, reprend-elle bien, sans repos, la *même* sensibilité qu'auparavant? Ou bien change-t-elle, ainsi que la plaque daguerrienne où l'on aurait, à la place du premier brun des anneaux de Newton, employé celui du second ordre? — sans qu'il puisse entrer, il est vrai, dans l'esprit de personne que ce retour à la coloration primitive ait été dû à la *destruction* des phases intermédiaires. La courbe, en un mot, au lieu de tendre asymptotiquement vers le zéro, rebondit-elle après l'avoir touché, pour prendre une forme rigoureusement périodique ou à ondulations successivement décroissantes? Il reste là un problème d'autant plus délicat à étudier, qu'une expérience de Bouasse, contraire à d'autres de A. et L. Lumière, tendrait à confirmer l'existence de ressauts ondulatoires de la courbe, même avant sa chute au zéro, comme ont voulu l'inférer certains commentateurs des expériences anciennes de Janssen, alors que toutes ces divergences pourraient bien ne tenir qu'à de simples détails non remarqués du développement.

M. P. Villard pense que tout ce débat repose sur des confusions. Ainsi il n'a jamais été question de continuation pour le gélatinobromure d'argent (sauf si, au lieu d'un révélateur alcalin, on prend une solution d'argent, avec plaques à grain très fin). Pour ces préparations il y a en effet lieu de détruire la légende créée autour de l'expérience d'Ed. Becquerel, et d'après laquelle une plaque légèrement voilée serait plus sensible parce que le voile permettrait l'action des rayons continuateurs. Or il n'y a pas continuation et, s'il y en avait une, elle exigerait des heures pour se manifester, enfin elle ne donnerait pas prise au révélateur. Il n'y a ici que les effets décrits par M. Guébhard.

Quant aux papiers, il serait invraisemblable que l'addition d'une impression blanche invisible et d'une impression jaune également invisible donnât l'image intense qu'on obtient par continuation. Si les épreuves présentées à la Société ne paraissent pas suffisamment probantes à M. Guébhard, il suffira à cet Auteur de répéter l'expérience pour se convaincre que le jaune, le rouge et le blanc ne sont pas interchangeables. Il est d'ailleurs évident *a priori* qu'une exposition de 15 secondes par exemple en lumière blanche, suivie d'une deuxième exposition de 15 secondes également, sans cliché cette fois, ne donnera pas l'image assez forte que donne la continuation, car il faudrait au moins 30 minutes de lumière blanche pour l'obtenir, et les blancs de l'épreuve seraient singulièrement voilés. M. Guébhard pourra également vérifier qu'en *lumière rouge pure* il n'y a jamais continuation, et que l'azotate d'argent est bien nécessaire. L'argument tiré de la propriété des plaques Daguerriennes *simplement iodées* (1) est

(1) Avec les plaques Daguerriennes ordinaires, Claudet a toujours obtenu la destruction avec restauration de la sensibilité première. D'ailleurs une comparaison ne saurait prévaloir contre un fait palpable.

précisément d'accord avec le fait en question, car la suppression de la couche d'argent sous-jacente supprime la continuation, et il y a là un phénomène dont l'intérêt n'échappera à personne.

Il sera également facile à M. Guébhard de s'assurer qu'il est extrêmement difficile de faire une photographie avec une plaque non voilée, enveloppée de deux ou trois feuilles de fort papier noir qui laisse cependant passer l'infra-rouge destructeur (*voir* plus haut, Rayons X).

Quant au rôle tutélaire des lanternes de laboratoire, il n'est pas menacé. Les verres rouges ayant leur maximum de transparence situé entre les raies D et C, ce qu'ils laissent passer fait partie des radiations qui impressionnent et voilent les plaques au gélatinobromure, comme tout le monde le sait. Il n'y aurait destruction qu'avec le gélatinochlorure; mais, comme il faudrait alors 5 ou 6 heures au moins de plein soleil sous un bon verre rouge pour détruire une image, on voit ce que pourra faire en 15 minutes une bougie placée derrière le même verre rouge.

Mesure des petits courants alternatifs de haute fréquence, par M. Duddell. — Les courants alternatifs de haute fréquence et de faible intensité (courants téléphoniques et courants de la télégraphie sans fil) ne peuvent être mesurés avec les appareils électromagnétiques et électrostatiques ordinaires, mais les appareils thermiques sont applicables. M. Duddell présente à la Société deux appareils fondés sur ce dernier principe.

Premier appareil. — Un fil de platine-argent de 25μ de diamètre est laminé pour former un ruban dont on fixe les extrémités, puis que l'on tord par le milieu de façon que les deux moitiés aient des torsions inverses (ruban tordu d'Ayrton-Perry). Sur le milieu se trouve fixé un petit miroir de galvanomètre. Quand un courant échauffe par son passage le ruban tordu, sa torsion augmente et le miroir tourne.

Un système compensateur particulier empêche l'appareil d'être sensible aux variations de la température ambiante; le zéro est fixe.

Cet appareil donne 25^{cm} de déviation sur une échelle placée à 100^{cm} pour un courant de 22 milliampères. Il décèle des courants inférieurs au milliampère. Sa self-induction est faible et il est très robuste. Il a permis, pratiquement, de rechercher la cause des irrégularités de voltage des alternateurs accouplés ou commandés par une machine à vapeur.

Second appareil. — Une résistance traversée par le courant à mesurer échauffe par rayonnement l'une des soudures du couple thermo-électrique (Bi, Sb) d'un radiomicromètre de Boys.

La résistance, en kruppin, or ou platine, a une longueur de 3^{mm} à 4^{mm} et une résistance qui peut dépasser 10000 ohms.

Le couple thermo-électrique fait partie d'un cadre rectangulaire placé entre les pôles d'un aimant permanent et soutenu par un fil de quarz. Le cadre tourne quand la soudure chauffe.

Cet appareil est plus sensible et plus délicat que le précédent; il obéit rapidement et on le rend propre à des mesures variées en changeant la résistance chauffante.

Expériences. — Le second appareil fonctionne devant la Société. Il donne des déviations considérables quand on le met en relation avec un *récepteur* téléphonique dont on déplace la plaque vibrante ou dans lequel on siffle; il enregistre même les bruits de la salle.

On l'utilise ensuite pour mesurer les courants qui traversent une antenne réceptrice de télégraphie sans fil et l'on fixe ainsi la valeur de la self qui convient pour la meilleure sensibilité du poste récepteur.

Photographies en couleurs obtenues par la méthode interférentielle, sans miroir de mercure, par M. Rothé. — Lorsqu'on regarde par réflexion la photographie d'un spectre obtenue par la méthode de M. Lippmann, on constate (surtout si le cliché a été surexposé) que les deux faces de la plaque ne présentent pas les mêmes teintes. Du côté verre on voit les couleurs du spectre fidèlement reproduites, du côté gélatine des teintes très différentes, quelquefois à peu près complémentaires des premières.

De plus, la face gélatine d'une photographie en couleurs, de pose insuffisante, présente, suivant la durée de la pose et l'épaisseur de la gélatine, des teintes variées. En frottant avec le doigt ou du coton, sous un jet d'eau, la gélatine d'une plaque présentant certaines teintes, on modifie assez sa surface pour que, après dessiccation, les teintes de la plaque aient totalement changé du côté gélatine.

Il a semblé à M. Rothé que les plans d'argent réduit les plus voisins de la gélatine et la lame mince formée par la surface de la gélatine et le premier plan d'argent intervenaient pour une très large part dans la production des couleurs, lorsqu'on observe la face gélatine par réflexion.

Or, il est logique d'admettre qu'entre la gélatine et le mercure tout l'air n'a pas été chassé. Il en subsiste une mince couche, qui est trop mince pour que l'épaisseur traversée introduise une différence de marche appréciable, mais dont la présence peut causer une réflexion sur la surface de séparation gélatine-air avec une différence de phase déterminée. Il y aurait alors, outre la réflexion sur le miroir de mercure, une réflexion sur l'air qui pourrait expliquer les teintes variées observées dans les clichés insuffisamment posés.

L'auteur a pensé que, s'il en était ainsi, il pourrait obtenir, pour des poses prolongées, des photographies en couleurs par réflexion de la lumière sur la surface gélatine-air seulement.

L'expérience a confirmé sa prévision.

Les photographies présentées à la Société (spectres, perroquets, houx, oiseau, bouquets) ont été obtenues par la méthode interférentielle de M. Lippmann, avec cette seule différence que M. Rothé a supprimé le miroir de mercure et utilisé seulement, comme surface réfléchissante, la surface de séparation gélatine-air.

Il suffit de placer dans un appareil quelconque, la face verre tournée vers l'objet, une plaque transparente au gélatinobromure préparée d'après les indications de M. Lippmann (1). Comme pour les photographies interférentielles ordinaires, la pose est très variable suivant que l'objet est placé au soleil ou à l'ombre (30 minutes au soleil, 2 heures dans une salle de laboratoire). La photographie du spectre d'une lampe à arc exige environ 15 minutes. On peut réduire la pose à quelques minutes en traitant les plaques avant l'usage par une solution alcoolique d'azotate d'argent.

L'acide pyrogallique (formule de MM. Lumière) a paru être le révélateur le mieux approprié. Il est bon, pour faire apparaître les teintes sombres, de renforcer au bichlorure et à l'amidol. Mais cette dernière opération doit être conduite avec ménagement, pour ne pas modifier les couleurs.

Il est aisé de prévoir, d'après la façon même dont ces photographies ont été obtenues, qu'elles offriront sans doute un éclat moins vif que les admirables épreuves de M. Lippmann. Les couleurs sont pourtant bien visibles et ces épreuves pourront, comme le croit M. Rothé, être perfectionnées notablement entre les mains des praticiens et, en tout cas, *elles présentent l'avantage de pouvoir être obtenues sans matériel spécial, dans un appareil quelconque;* elles sont déjà tout à fait suffisantes pour pouvoir

(1) *La Science au* XX*e siècle,* 1re année, n° 5, 15 juin 1903.

servir à des démonstrations (variation des teintes avec la température, le degré d'humidité, etc.). Elles sont à la portée de tous les amateurs; c'est à ce titre surtout qu'elles paraissent offrir quelque intérêt.

Toutes les teintes les plus diverses, depuis l'orangé jusqu'au violet, sont fidèlement reproduites. Il est plus difficile d'obtenir le rouge vif en vraie valeur. Il n'apparaît quelquefois, surtout après renforcement, qu'avec une teinte orangée. M. Rothé s'efforce de sensibiliser davantage pour le rouge et de modifier la nature de la pellicule sensible, afin d'augmenter l'intensité du faisceau réfléchi.

M. Lippmann dit que l'explication donnée par M. Rothé de son expérience peut être vérifiée de la manière suivante : derrière la couche sensible on met un verre noir, et l'on interpose une couche de benzine entre la gélatine et le verre noir. On supprime ainsi toute réflexion, et les couleurs disparaissent du même coup. Si, entre la gélatine et le verre noir, on laisse au lieu de benzine une couche d'air, les couleurs du spectre sont de nouveau reproduites; et on aperçoit en outre, sur le cliché, la trace noire des anneaux de Newton qui s'étaient formés entre les deux surfaces.

Même résultat si l'on remplace le verre noir par une glace argentée sur sa face la plus voisine de la gélatine.

En remplaçant la glace argentée par du mica argenté, qui est plus flexible, et en exerçant une pression appropriée, on réalise à peu près les conditions de bon contact que donne une couche de mercure. Les couleurs sont alors très brillantes; mais seulement là où le contact a été suffisant; dans la plaque, au contraire, où il est resté une couche d'air d'épaisseur appréciable, les couleurs redeviennent faibles. Le mica argenté ne remplace donc pas pratiquement la couche de mercure.

On peut encore séparer la surface sensible du miroir de mercure par un vernis transparent, formé d'une couche de gélatine pure et insensible étendue sur la gélatine sensible, puis séchée. Dans ce cas, les couleurs sont très brillantes encore; elles perdent en éclat si l'épaisseur du vernis augmente. Ces résultats montrent que, pour obtenir les couleurs les plus brillantes et les plus justes, il faut le contact parfait que l'on n'obtient qu'avec la lame de mercure coulée derrière la gélatine.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1904.

Annales de l'Observatoire d'Astronomie physique de Paris, sis à Meudon (Seine-et-Oise), publiées par M. J. Janssen, Directeur de l'Observatoire. — **Atlas de Photographies solaires**, 1er volume de l'Atlas publié par M. J. Janssen, assisté par M. Pasteur, photographe de l'Observatoire. Paris, Gauthier-Villars, 1903.

American Journal of Science. — 4e série, T. XVI et XVII, 1904; in-8°.

American Journal of Mathematics. — Edited by Frank Morley, with the cooperation of Simon Newcomb, A. Cohen, Charlotte A. Scott and the other mathematicians. — Published under the auspices of the Johns Hopkins University.

Annales de la Société scientifique de Bruxelles. — 28e année, fasc. 1 à 3, 1903-1904; in-8°.

Annalen der Physik. — Tomes XIII, XIV et XV, 1904; 3 vol. in-8°.

Annales de Chimie et de Physique. — 8e série, t. I, II et III, 1904; 3 vol. in-8°.

Annales de la Faculté des Sciences de Marseille, t. XIV, année 1904. 1 vol. in-4°.

Annales de l'Observatoire national d'Athènes. — Publiées par Démétrius Eginitis.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie. — Publiées par S.-C. Hepitès.

Annales de l'Observatoire magnétique de Copenhague. Année 1899-1900; 1 vol. in-4°.

Annales scientifiques de l'Université de Jassy. — T. III, 1904; in-8°.

Annuaire météorologique. — Publié par l'Institut Danois. 2e partie 1902 et 1re partie 1903; in-4°.

Annuaire pour l'an 1904 avec des Notices scientifiques. — Publié par le Bureau des Longitudes. — Paris, Gauthier-Villars; in-16.

Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève. — 4e période, t. XVII et XVIII, 1904; 2 vol. in-8°.

Archives d'Electricité médicale, expérimentale et clinique. — Publiées par J. Bergonié, année 1904; 1 vol. in-8°.

Astrophysical Journal, an international review of Spectroscopy and astronomical Physics (Chicago). T. XVI, Année 1904, in-8°.

Atti della Reale Accademia dei Lincei. Vol. XIII, 1er semestre 1904 et 2e semestre, nos 1 à 4 et 6 à 12, in-4°.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie. — T. XXVIII, Année 1904; 1 vol. in-8°.

Bulletin météorologique du département de l'Hérault, publié sous les auspices du Conseil général (Année 1903). Montpellier, Serre et Roumegoüs, 1904; 1 fasc. in-8°.

Bulletin scientifique trimestriel. — Publié par l'Association amicale des Élèves et anciens Élèves de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. Nos 1, 2 et 3, 1904; in-8°.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens. — T. XXI, année 1904; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société française de Minéralogie. — T. XXVII, année 1903; nos 1 à 8, in-8°.

Bulletin de la Société internationale des électriciens. — Année 1904; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale. — 4e série, année 1904; 1 vol. in-4°.

Bulletin de la Société internationale de Bibliographie. — Année 1904; fasc. 1 à 3, in-8°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris. — Compte rendu sommaire des séances, t. V, nos 3 et 4, et t. VI, nos 1, 2 et 3, 1902-1903; in-8°.

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles. — 4e série, vol. XXXIX, nos 148 et 149; et vol. XL, n° 150; 1 vol. in-8°.

Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore. — 3e série, t. IV, nos 1 à 9, 1904; in-8°.

Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse. — Janvier à novembre 1904. — Mulhouse, Vve Bader et Cie, 1904; 1 vol. in-8°.

Bulletin international de l'Académie des Sciences de Cracovie. — Année 1904; 1 vol. in-8°, et katalog., t. III, Rok 1903, Zeszyt IV; in-8°.

Chronique Industrielle. — Année 1904; in-4°.

Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. — T. CXXXVIII et CXXXIX, 1904; 2 vol. in-4°.

Éclairage électrique (L'). — Revue hebdomadaire des transformations électriques, mécaniques, thermiques de l'énergie. Année 1904; 3 vol. in-4°.

Electrician (The). — Vol. LII, LIII et LIV (nos 1379 à 1390), 1903-1904; in-4°.

Électricien (L'). — Revue internationale de l'Électricité et de ses applications. — 2e série, t. XIII; année 1904; in-8°.

Electro-Chemist and Metallurgist (The). — Vol, I, 1901. — Vol. II, Part 1 et 2, 1902. — Vol. III, Part 2 à 6, 1903. — Vol. IV, Part 8, nos 21-22; Part 10, nos 23-24; in-8°.

Fortschritte der Physik im Jahre 1903. — Braunschweig, Friedrich Vieweg und Sohn, t. II et III; 2 vol. in-4°.

Halbmonatliches Litteraturverzeichnis der Fortschritte der Physik. — 3 Jahr. 1904; in-8°.

Internacia Sciencia Revuo, monato organo en Esperanto. — 1a Jaro, nos 1 à 11, 1904; in-8°.

Journal de Physique, théorique et appliquée. — Fondé par J.-Ch. d'Almeida et publié par MM. E. Bouty, A. Cornu, G. Lippmann, E. Mascart, A. Potier. 4e série, t. III, 33e année, 1904; 1 vol. in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires. — Publié par M. A. Buguet, nos 208 à 219; in-8°.

Journal of the Franklin Institute. — T. CLVII et CLVIII. Année 1904; 2 vol. in-8°.

Journal de la Société physico-chimique russe de Saint-Pétersbourg. — T. XXXVI, 1904; 1 vol. in-8°.

Journal of Physical Chemistry (Ithaca). — Vol. VII, année 1903; in-8°.

Journal of the Institution of Electrical Engineers including original Communications on Telegraphy and Electrical Science. — Vol. XXXIII, 1904; 2 vol. in-8°.

Journal de la Société Impériale technique russe. — T. XXXVIII. Année 1904; 1 vol. in-8°.

Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings of the section of Science. — Vol. VI, février à mai 1904, 2e partie, et Vol. VII, juin à décembre 1904; in-8°.

Mémoires de la Société d'Émulation du Doubs.

Memoirs and Proceedings of the Manchester litterary and philosophical Society. — T. XLVIII, 1903-1904; 1 vol. in-8°.

Mémoires et Comptes Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs civils. — 4e série, 56e année, année 1904; 1 vol. in-8°.

Journal de Chimie physique, publié par M. Ph.-A. Guye. 1re année, nos 1, 2 et 3. Genève, 1903; in-8°.

Memorias y revista de la Sociedad cientifica « Antonio Alzate » (Mexico). — T. XIX, nos 5 à 10, et t. XIII, nos 7 et 8; in-8°.

Mois scientifique et industriel (Le). — Revue internationale d'informations; 5e année, 1904; 1 vol. in-8°.

Moniteur industriel. — Vol. XXXI, année 1904; 1 vol. in-4°.

Nature (de Londres). — Année 1904; 1 vol. in-4°.

Nova Acta Regiæ Societatis Scientiarum Upsaliensis. — Vol. XX, fasc. II, 1904; 33 vol. in-4°.

Nuovo Cimento (Il) — 5e série, t. VII et VIII, année 1904; 2 vol. in-8°.

Mémorial des poudres et salpêtres, publié par les soins du service des poudres et salpêtres avec l'approbation du Ministre de la Guerre. — T. XII, 1er et 2e fasc.; in-8°.

Mitteilungen der physikalischen Gesellschaft Zürich. — Nos 6 et 7, 1904; in-8°.

Nautical Meteorological Annual. — Année 1903; 1 vol. in-4°.

Observatoire magnétique et météorologique de Zi-Ka-Weï (Chine). — Fondé et dirigé par les Missionnaires de la Compagnie de Jésus. Calendrier annuaire pour 1904. — Shang-Haï, imprimerie de la Mission catholique; 3 vol. in-4°.

Philosophical Magazine and Journal of Science. — Sixth series, vol. VII et VIII, 1904; 2 vol. in-8°.

Physical Review. — A Journal of experimental and theoretical Physics, t. XVI, XVIII et XIX, 1904; 2 vol. in-8°.

Popular Astronomy. — Goodsell Observatory of Carleton College Northfield, Minnesota. — Vol. XII, 1904; in-8°.

Proceedings of the physical Society of London. — Vol. XIX, n°s 111 à 113; in-8°.

Proceedings of the American Academy of Arts and Science. T. XXXV, 1890; in-8°.

Proceedings of the American Philosophical Society held at Philadelphia for promoting useful knowledge. — Vol. XLII, n°s 174 à 177; in-8°.

Proceedings of the Royal Society. — T. LXXII, n° 487 et t. LXXIII et LXXIV, n°s 498 à 503; in-8°.

Radium (Le). — La radioactivité et les radiations, les sciences qui s'y rattachent et leurs applications. N°s 1 à 6, année 1904.

Revue électrique. — T. I et II. Année 1904; in-4°.

Revue générale des Sciences pures et appliquées. — Publiée par M. Louis Olivier, 15e année, 1904; 1 vol. in-4°.

Revue industrielle (La). — Année 1903; 1 vol. in-4°.

Revue technique. — Annales des Travaux publics et des Chemins de fer. 25e année, n°s 4 et 6 à 24, 1904; in-4°.

Revue des Questions scientifiques. — Publiée par la Société scientifique de Bruxelles, T. V et VI, année 1904; 1 vol. in-8°.

Revue scientifique. — 5e série, t. II, 1904; in-4°.

Revue des Sciences photographiques. — Année 1904; in-4°.

Royal Observatory Greenwich. — Observations, vol. I; 1900 et 1901; in-4°.

Rozprawy Akademii Umiejetności. — **Waziad Matematyczno-Przyrodniczy** (Acad. des Sciences de Cracovie). T. III, A et B, XLIII, 1903; in-8°.

Science abstracts, Physics and electrical Engineering. — Vol. VII, 1904; 1 vol. in-8°.

Technology quarterly and Proceedings of the Society of Arts. — Vol. XVI, n°s 4, 1903; et vol. XVII, n°s 2 et 3, 1904; 1 vol. in-8°.

The scientific Proceedings of the Royal Dublin Society. — Vol. X, part. 1, in-8°.

The economic Proceedings of the Dublin Society. — Vol. I, part. 4, in-8°.

The scientific Transactions of the Royal Dublin Society. — Octobre, novembre, décembre 1903.

Tôkiô Sugaku. — Buturigaku Kwai Kizi. Hokuku, vol. II, n°s 5 à 12; in-8°.

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. — Vol. XX, n°s 9 et 10 et vol. XXI, n°s 1 à 10, 1904; in-8°.

University of Toronto Studies. — N°s 40 à 43. Papers from the chemical Laboratories physical Science, series n° 4; in-8°.

Transactions of the American Institute of electrical Engineers. — January 1 to july 1, 1902. Vol. XIX; 1 vol. in-8°.

Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen. — 35. Heft, 1903. Erlangen, K. b. Hof. und Univ.-Buchdruckerei von Junge und Sohn, 1904; 1 vol. in-8°.

The national physical Laboratory. — Report for the year 1901 and 1902. London, Harrison and Sons, St. Martin's Lane, 1902; 2 fasc. in-8°.

Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. — Jahrg. 2. Heft 1904: in-8°.

Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel. Bd XV[1d], 2 et XVI, 1904; in-8°.

Zeitschrift für Instrumentenkunde. — Année 1904; in-8°.

Abraham (**Henri**). — Recueil d'expériences élémentaires de Physique, publié avec la collaboration de nombreux physiciens. (2e partie : Acoustique, Optique, Electricité et Magnétisme.) Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 vol. in-8°.

Angstrôm (**Knut**). — Die Strahlung der Hefnerlampe. (Extr. *Phys. Zeitschrift,* n° 15, 1904.) In-8°.

— Contributions à la connaissance du dégagement de chaleur du radium. (Extr. *Arkiv för Mathematik, Astronomi och Fysik,* Bd. I.) In-8°.

— Ueber das ultrarote Absorptions-Spektrum des Ozons. (Extr. *Arkiv för Mathematik, Astronomi och Fysik,* Bd. I.) In-8°.

— Die Ozonbänder des Sonnenspektrums und die Bedeutung derselben für die Ausstrahlung der Erde. (Extr. *Arkiv for Mathematik, Astronomi och Fysik,* Bd. I.) In-8°.

— Énergie dans le spectre visible de l'étalon Hefner. (Présenté à la Société royale des Sciences d'Upsala le 6 mai 1903.) Upsala. Edv. Berling, 1903; 1 fasc. in-4°.

Antony (**William-A.**). — Transatlantic Telephone. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1901.) 1 fasc. in-8°.

Arnoux (**R**). — Allumage des gaz dans les moteurs à explosion. (Extr. du 2e Congrès international d'automobilisme.) Paris, Lockert, 1903, 1 fasc. in-8°.

Aubel (**Edm. Van**). — Sur les indices de réfraction des mélanges liquides. (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 28 avril 1902.) 1 fasc. in-4°.

— Sur la loi de Maxwell $n^2 = K$ pour quelques composés contenant de l'azote. (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 5 mai 1902.) 1 fasc. in-4°.

— Sur la résistance électrique des corps peu conducteurs aux très basses températures. (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 15 septembre 1902.) 1 fasc. in-4°.

— Sur la résistance électrique du sulfure de plomb aux très basses températures. (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*), 1 fasc. in-4°.

— Sur le phénomène de Hall et le pouvoir thermo-électrique. (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 10 novembre 1902.) 1 fasc. in-4°.

— Action des corps radioactifs sur la conductibilité électrique du sélénium. (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 14 avril 1903.) 1 fasc. in-4°.

— Sur les effets thermomagnétiques dans les alliages bismuth-plomb. (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 11 mai 1903.) 1 fasc. in-4°.

Barbillion (**L.**) et **Griffisch** (**G.-I**). — Traité pratique de la traction électrique. Paris, E. Bernard, 1903; 2 vol. in-8°.

Baud (**E.**). — Sur quelques combinaisons du chlorure et du fluorure d'aluminium. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars, 1903; 1 fasc. in-8°.

Baumgart (**C.**). — Ueber den Druck im elektrischen Funken und über die Grössen $\frac{\varepsilon}{\mu}$ und ν in demselben. (Extr. *Physikalisch. Zeitschrift,* n° 27, 1903.) 1 fasc. in-8°.

Beckenhaupt (**Charles**). — Quelques considérations sur le mécanisme de la vie, présentées à MM. les Membres de l'Académie des Sciences. Strasbourg, Du Mont-Schauberg, 1904; 1 br. in-8°.

Becquerel (**Henri**). — On the radio-activity of matter. (Extr. *Smithsonian Institution for* 1902.) 1 br. in-8°.

Beghin (**A.**). — Règles à calculs. Instructions, Applications numériques, Tables et formules. 3e édition. Paris, Ch. Béranger, 1904; 1 fasc. in-8°.

Belloc (**G.**). — Thermo-électricité du fer et des aciers. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars, 1903; 1 br. in-8°.

Billet (**F**). — Traité d'Optique physique. Paris, Mallet-Bachelier, 1858. 2 vol. in-8°.

Bloch (**Eugène**). — Recherches sur la conductibilité électrique de l'air produite par le phosphore et sur les gaz récemment préparés. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 br. in-8°.

Blondlot (**R.**). — Rayons N, recueil des communications faites à l'Académie des Sciences, avec des Notes complémentaires et une Instruction pour la confection des écrans phosphorescents. Paris, Gauthier-Villars, 1904. 1 br. in-8°.

Bouasse (**H.**). — Sur l'étude expérimentale des déformations permanentes. Technique et résultats. (Extr. du *Bull. de la Soc. d'encouragement pour l'Industrie nationale,* octobre 1903.) 1 fasc. in-4°.

Bouasse (**H.**) et **Carrière** (**Z.**). — Sur les courbes de traction du caoutchouc vulcanisé. 1 fasc. in-4°.

Boulanger (**J.**), lieutenant-colonel du génie, et **Ferrié** (**G.**), capitaine du génie. — La télégraphie sans fil et les ondes électriques. 5e édition, augmentée et mise à jour. 1 volume in-8° avec 111 figures dans le texte. Berger-Levrault et Cie, Paris, 1904.

Borel (**Arnold**). — Sur la polarisation rotatoire du quartz. Dissertation présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Genève pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences. (Extr. des *Archives des Sciences physiques et naturelles,* 4e période, t. XVI. juillet-août 1903.) 1 fasc. in-8°.

Bouzat (**M.**). — Composés cuproammoniques. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars, 1903; 1 fasc. in-8°.

Branly (**Edouard**). — Cours élémentaire de Physique. 3e édition, Paris, Vve Ch. Poussielgue, 1905; 1 vol. in-8°.

Brillouin (**Marcel**). — Propagation de l'Électricité. Histoire et théorie. Paris, Hermann, 1904; 1 vol. in-8°.

Brunhes (**Bernard**) et **David** (**Pierre**). — Sur la direction de l'aimantation permanente dans diverses roches volcaniques. (Extr. des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 7 décembre 1903.) 1 fasc. in-4°.

Carhart (**Henry-S.**). — The imperial physico-technical Institution in Charlottenburg. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1900.) 1 fasc. in-8°.

— The legalized standard of electromotive force. (American Institute of electrical Engineers.) 1903; 1 br. in-8°.

Carlier (**J.**). — Note sur un compteur de vitesse à force centrifuge. (Extr. *Revue universelle des Mines,* t. III, 4e série; 1903.) Bruxelles, 1903, 1 br. in-8°.

Castex (**E.**). — Précis d'Électricité médicale : Technique, Électrophysiologie, Electrodiagnostic, Electrothérapie, Radiologie, Photothérapie. Paris, R. de Rudeval, 1903. 1 br. in-8°.

Chappuis (**P.**). — Dilatation du mercure. (Extr. du Tome XIII des *Travaux et Mémoires* du Bureau international des Poids et Mesures.) Gauthier-Villars; 1903, 1 br. in-4°.

— Nouvelles études sur les thermomètres à gaz. (Extr. du Tome XIII des *Travaux et Mémoires* du Bureau international des Poids et Mesures.) Gauthier-Villars; 1903, 1 br. in-4°.

Christiansen (**E.**). — H. C. Orsted som naturfilosof. (Sœrtryk af oversigt over det kgl. Danske videnskabernes selskabs forhandlinger; 1903, n° 4.) 1 fasc. in-8°.

Congrès international d'Électricité (Paris, 18-25 août 1900). *Annexes* publiées par les soins de M. E. Hospitalier. Paris, Gauthier-Villars, 1903, 1 vol. in-8°.

Coulomb (Officier du génie, membre de l'Institut.). — Mémoires sur l'Électricité et le Magnétisme. (Extr. des *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de Paris,* publiés dans les années 1785 à 1789, avec planches et Tableaux.) Paris, Bachelier. 1 vol. in-4°.

Culmann (**P.**). — « Le Verant » de la maison Zeiss; instrument pour examiner les photographies de petit format. (Extr. du *Bull. de la Soc. franç. de Photographie,* 2e série, t. XX, 1904.) 1 br. in-8°.

Curie (**Mme Sklodowska**). — Recherches sur les substances radioactives. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars, 1903; 1 br. in-8°.

Curtis (**Thomas-E.**). — The Zeppelin air ship. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1900.) 1 fasc. in-8°.

Daguin (**P.-A.**). — Traité élémentaire de Physique théorique et expérimentale, avec les applications à la Météorologie et aux Arts industriels. Toulouse, Edouard Privat; Paris, Desobry et E. Magdeleine, 1855. 3 vol. in-8°.

Dastre (**A.**). — The new radiations. Cathode rays and Röntgen rays. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1901.) 1 fasc. in-8°.

Descudé (**Marcel**). — Condensation par le chlorure de zinc. (Thèse.) Grenoble, Allier, 1903, 1 fasc. in-8°.

Desfontaines (**Marcel**). — Etude des éthers δ-méthylcyclopentanonecarboniques et de leurs dérivés. (Thèse.) Paris, P. Dupont, 1904; 1 br. in-8°.

Devaux (**H.**). — Recherches sur les lames minces liquides ou solides, existence d'un minimum d'épaisseur. (Extr. des *Procès-verbaux* des séances de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux, séance du 3 décembre 1903.) 1 fasc. in-8°.

Dewar (**James**). — Liquid hydrogen. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1900.) 1 fasc. in-8°.

— Solid hydrogen. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1901.) 1 fasc. in-8°.

— History of cold and the absolute zero. (Extr. *Smithsonian Report,* 1902.) 1 br. in-8°.

Ditisheim (**Paul**). — La variation des chronomètres avec la pression atmosphérique et la correction de cette variation. Remarques de M. Ch.-Ed. Guillaume. (Extr. du *Journal Suisse d'horlogerie*, Genève, 1904.) 1 br. in-8°.

— Essai d'une détermination de différence de longitude par transport de l'heure. (Extr. des *Comptes rendus,* 25 avril 1904.) 1 br. in-4°.

— Sur la relation entre la pression et la marche des chronomètres. (Extr. des *Comptes rendus,* 2 novembre 1903.) 1 br. in-4°.

— Correction de l'erreur secondaire de compensation des chronomètres par l'emploi du balancier système Guillaume. Chaux-de-Fonds, Henri Baillod, 1902. 1 br. in-12.

— Sur un enregistreur chronométrique portatif imprimant les observations en mesurant le $\frac{1}{100}$ de seconde. Chaux-de-Fonds, E. Sauser, 1904. 1 br. in-8°.

Duclaux (**Jacques**). — Recherches sur les substances colloïdales. (Thèse.) Laval, L. Barneoud et Cie, 1904. 1 br. in-8°.

Dufour (**Henri**) et **Buhrer** (**Ch.**). — L'insolation en Suisse. 1° Mesures héliographiques; 2° Mesures actinométriques. (Extr. des *Archives des Sciences physiques et naturelles*, 1903.) 1 fasc. in-8°.

Duhem (**P.**). — Thermodynamique et Chimie. Leçons élémentaires à l'usage des chimistes. Paris, Hermann, 1902. 1 vol. in-8°.

Eginitis. — Sur l'échauffement des pôles et les spectres des étincelles. (Extr. du *Bulletin astronomique,* mars 1904.) 1 br. in-8°.

Estanave (E.). — Notice sur un hyperbolographe à liquide. (Extr. du *Bulletin de l'Association des élèves et anciens élèves de la Faculté des Sciences de Paris,* mars 1904.) 1 fasc. in-8°.

— Nomenclature des Mémoires de Physique expérimentale et de Physique mathématique, présentés en France, dans le courant du XIXe siècle, devant les Facultés des Sciences, en vue du Doctorat. (Extr. du *Journal de Physique théorique et appliquée*, août 1903.) 1 fasc. in-8°.

Féry (Ch.). — Rayonnement calorifique et lumineux de quelques oxydes (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1902; 1 br. in-8°.

Fornaro (A.) et **Guye (Ch.-Eug.).** — Détermination de la variation résiduelle du deuxième module d'élasticité d'un fil d'invar soumis à des changements de température. (Extr. des *Archives des Sciences physiques et naturelles,* 1904.) 1 br. in-8°.

Foveau de Courmelles. — Les applications médicales du radium. Paris, H. Farjas, 1904. 1 vol. in-8°.

— Le radium et les corps radio-actifs. (Extr. *Revue internationale de Thérapie physique,* 4e année, n° 21, 1903.) 1 fasc. in-8°.

Gaede (W.). — Polarisation des Voltaeffektes. (Extr. *Annalen der Phys.,* Band XIV, 1904.) In-8°.

Gibbs (J.-W.). — Diagrammes et surfaces thermodynamiques. Traduction de M. G. Roy, avec une introduction de M. B. Brunhes. Collection *Scientia*, Naud. Paris, 1903. 1 vol. in-8°.

Giran (Henri). — Recherches sur le phosphore et les acides phosphoriques. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars, 1903; 1 fasc. in-8°.

Girardet (Fernand). — Lois de l'Électrolyse et préparation électrolytique des corps simples. Nancy, Louis Kreis, 1904. 1 br. in-8°.

Glazebrook (R.-T.). — The aims of the national physical Laboratory of Great Britain. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1901.) 1 fasc. in-8°.

Guébhard (A.). — Inversion de l'image sous-posée par surdéveloppement lent. (Extr. du *Bull. de la Soc. française de Photographie,* 2e série, t. XX, 1903.) 1 opusc. in-8°.

— Sur une expérience du professeur Tito Martini reproduisant expérimentalement certains phénomènes éruptifs du volcanisme. (Extr. du *Bull. de la Soc. géologique de France,* 4e série, t. II, 1902.) 1 opusc. in-8°.

Guillaume (**Ch.-Ed.**). — Les applications des aciers au nickel avec un appendice sur la théorie des aciers au nickel. Paris, Gauthier-Villars, 1 vol. in-8°; 1904.

Guntz (**A.**). — Sur les fours électriques à résistance. (Extr. *Journal de Chimie physique,* publié par M. Ph.-A. Guye.) Paris, Gauthier-Villars, 1903. 1 fasc. in-8°.

Guye (**Ch.-Eug.**). — Sur la valeur absolue du potentiel dans les réseaux isolés de conducteurs présentant de la capacité. (Extr. des *Comptes rendus*, 19 août 1901.) 1 fasc. in-4°.

Guye (**Ch.-Eug.**) et **Herzfeld** (**B.**). — Sur l'hystérésis magnétique aux fréquences élevées. (Extr. des *Comptes rendus,* 20 avril 1903.) 1 fasc. in-4°.

Guye (**Ch.-Eug.**) et **Dento** (**P.**) — Sur la réalisation d'un champ électrostatique tournant de haute tension. (Extr. *Éclairage électrique,* 1904.) 1 br. in-8°.

Guye (**Ch.-Eug.**) et **Bernoud** (**Alph.**). — Nouvelle méthode électrothermique pour mesurer la puissance moyenne des courants de fréquence élevée. (Extr. des *Archives des Sciences physiques et naturelles,* 1904.) 1 br. in-8°.

Guye (**Ch.-Eug.**) et **Monasch** (**B.**). — Recherches sur l'arc alternatif de très faible intensité jaillissant entre les électrodes métalliques. (Extr. *Éclairage électrique,* 1903.) 1 br. in-8°.

Recherches sur l'arc alternatif de très faible intensité jaillissant entre les électrodes métalliques. (Extr. *Eclairage électrique,* t. XXXIV, 1903.) 1 fasc. in-4°.

Fonctionnement de l'arc de très faible intensité jaillissant entre électrodes métalliques. (Extr. des *Archives des Sciences physiques et naturelles*, 4e période, t. XV, mars 1903.) 1 fasc. in-8°.

Haga (**H.**), **Tiddens** (**P.-G.**) et **Wind.** (**C.-H.**) — La diffraction des rayons de Röntgen. (Extr. des *Archives néerlandaises des Sciences exactes et naturelles,* 2e série, t. VIII.) 1 br. in-8°.

Hammer (**William-J.**). — The Telephonograph. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1901.) 1 fasc. in-8°.

Herschel (**Sir William-J.**). — Color photography. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1901.) 1 fasc. in-8°.

Helbronner (**André.**) — Contribution à l'étude des aldéhydes oxynaphtoïques (Thèse). Paris, Jouve, 1904; 1 br. in-8°.

Janssen (**J.**).— The progress of Aeronautics (Extr. *The Smithsonian Report,* 1900). 1 fasc. in-8°.

Rowe Iesse Perry (**M.-A.**) — Some volcanic ash beds of Montana. (Extr. *Bulletin University of Montana,* n° 17; *Geological series,* n° 1, 1903.) 1 fasc. in-8°.

Karpen (**N.-Vasilesco.**). — Recherches sur l'effet magnétique des corps électrisés en mouvement (Thèse). Paris, Gauthier-Villars; 1904. 1 br. in-8°.

Kelvin (**Lord.**). — On Ether and gravitational matter through infinite space. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1901.) 1 fasc. in-8°.

Kendrick (**John G.-Mc.**) — Experimental phonetics. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1902.) 1 br. in-8°.

Kennelly (**Arthur-E.**). — Magnetic units and other subjects that might occupy attention at the next international electrical Congress. (American Institute of electrical Engineers.) 1903; 1 br. in-8°.

Kerntler (**Franz**). — Das Ampère'sche elektrodynamische Elementar-potential. Budapest, Buchdruckerei der Pester Lloyd-Gesellschaft, 1903; 1 fasc. in-8°.

Kropotkin (**Prince**). — Unsuspected Radiations. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1900.) 1 fasc. in-8°.

Lamé (**G.**) — Cours de Physique de l'École Polytechnique. Paris, Bachelier, 1840 (2e édition). 3 vol. in-8°.

Lampa (**Anton**). — Aus der Statistik der Prüfungsstelle für Normalstimmgabeln in Wien. (Ext. *Boltzmann-Festschrift,* 1904.) 1 br. in-8°.

— Ueber einen Versuch mit Wirbelringen. (Extr. *Akademie der Wissenschaften in Wien,* Bd. CXII, Juli 1903.) 1 br. in-8°.

— Zur Molecularlheorie anisotroper Dielectrica. Mit einer experimentellen Bestimmung der Dielectricitäts-Constante einer gespannten Kautschukplatte senkrecht zur Spannungsrichtung. (Extr. *Akademie der Wissenschaften in Wien,* Juli 1903.)

— Ueber die elektromagnetischen Schwingungen einer Kugel sowie über diejenigen einer Kugel, welche von einer konzentrischen dielektrischen Kugelschale umgeben ist. (Extr. *Akademie der Wissenschaften in Wien,* Jänner 1903.) 1 br. in-8°.

— Elektrostatik einer Kugel, welche von einer concentrischen, aus einem isotropen Dielektricum bestehenden Kugelschale umgeben ist. (Extr. *Akademie der Wissenschaften in Wien,* April 1903.) 1 br. in-8°.

— Der Gefrierpunkt von Wasser und einigen wässerigen Lösungen unter Druck. (Extr. *Akademie der Wissenschaften in Wien,* März 1902.) 1 br. in-8°.

— Ueber Stromunterbrechung, mit besonderer Berücksichtigung des Wehnelt'schen Unterbrechers. (Extr. *Akademie der Wissenschaften in Wien,* Juli 1901.) 1 br. in-8°.

— Ueber einen Beugungsversuch mit elektrischen Wellen. (Extr. *Akademie der Wissenschaften in Wien,* Juli 1899.) 1 br. in-8°.

— Ueber die Brechungsquotienten einiger Substanzen für sehr kurze electrische Wellen. (Extr. *Ann. der Phys.,* Bd. LXI, 1897.) 1 br. in-8°.

— Ueber die Bestimmung der Dielektricitäts-Constante eines anisotropen Stoffes nach einer beliebigen Richtung aus den Dielektricitäts-Constanten nach den Hauptrichtungen. (Extr. *Akademie der Wissenschaften in Wien,* December 1895.) 1 br. in-8°.

— Zur Theorie der Dielektrica. (Extr. *Akademie der Wissenschaften in Wien,* Juli 1895.) 1 br. in-8°.

— Ueber die Absorption des Lichtes in trüben Medien. (Extr. *Akademie der Wissenschaften in Wien,* Mai 1891.) 1 br. in-8°.

Langevin (**P**). — Recherches sur les gaz ionisés. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars, 1902; 1 br. in-8°.

Langley (**S.-P.**). — The greatest flying creature. Introducing a paper on the Pterodactyl ornithostoma by F.-A. Lucas. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1901.) 1 fasc. in-8°.

— The Laws of nature. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1901.) 1 fasc. in-8°.

— The new spectrum. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1900.) 1 fasc. in-8°.

— The Langley Aerodrome. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1900.) 1 fasc. in-8°.

— Good Seeing. (Extr. *Smithsonian Report for* 1902.) 1 br. in-8°.

Lebedew (**Peter**). — On experimental investigation of the pressure of light. (Extr. *Smithsonian Report for* 1902.) 1 br. in-8°.

Le Bon (**Gustave**). — L'énergie intra-atomique. (Extr. *Revue scientifique,* n°s 16, 17 et 18; 1903.)

Lennan (**J.-C. Mc.**) et **Burton** (**E.-F.**). — On the radioactivity of metals generally. (University of Toronto studies physical, science series. N° 3.) 1 fasc. in-8°.

Lockyer (Sir **Norman**). — On solar changes of temperature and variations in rainfall in the regions surrounding the Indian Ocean. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1900.) 1 fasc. in-8°.

Locquin (**René**). — Action de l'acide nitreux et de ses dérivés sur les éthers et sur les acides β-cétoniques-α-substitués. (Thèse.) Paris, P. Dupont, 1904; 1 br. in-8°.

Lussana (**Silvio**). — Proprietà termiche dei solidi e dei liquidi. (Extr. *Nuovo Cimento*, série V, vol. VII, maggio 1904.) 1 br. in-4°.

— Influenza della pressione sulla resistenza elettrica dei metalli. Osservazioni ad una Memoria di Erick Lisell sullo stesso argomento. (Extr. *Nuovo Cimento*, série V, vol. V, maggio 1903.) 1 br. in-8°.

Maltezos (**C.**). — Sur une espèce d'oscillation de la perception chromatique. (Extr. des *Comptes rendus*, 6 juillet 1903.) 1 fasc. in-4°.

Marage. — Mesure et développement de l'audition chez les sourds-muets. Paris, Masson et Cie, 1903; 1 fasc. in-4°.

Marey (**J.**). — History of Chronophotography. (Extr. *The Smithsonian Report*, 1901.) 1 fasc. in-8°.

Marconi (**G**).— Wireless Telegraphy. (Extr. *The Smithsonian Report*, 1901.) 1 fasc. in-8°.

Martine (**Camille**). — Contribution à l'étude des menthones. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars, 1904; 1 br. in-8°.

Maupeou d'Ableiges (**De**). — Force et matière. Les théories du choc et l'expérience. (Extr. *Bulletin de l'Association technique maritime*, Session de 1903.) Paris, Gauthier-Villars, 1903; 1 fasc. in-8°.

Maver (**Jr.-William**). — Wireless Telegraphy : its past and present status and its prospects. (Extr. *Smithsonian Report*, 1902) 1 br. in-8°.

Mendenhall (**T.-C.**). — Progress in Physics in the nineteenth Century. (Extr. *The Smithsonian Report*, 1900.) 1 fasc. in-8°.

Metz (**G. de**). — Le laboratoire de Physique de l'Institut polytechnique Alexandre II, à Kiev. Aménagement et appareils. Kiev, 1903 (en russe). 1 fasc. in-4°.

Metzenbaum (**Myron**). — Radium, radioactive substances and aluminium with experimental research of the same. (Extr. *The Cleveland medical Journal*, May 1901.) 1 br. in-8°.

Moreau (**Georges**). — Recherches sur la conductibilité électrique des flammes. (Extr. *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XXX, septembre 1903.) 1 fasc. in-8°.

Nordmann (**Ch.**). — Essai sur le rôle des ondes hertziennes en Astronomie physique et sur diverses questions qui s'y rattachent. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars, 1903. 1 br. in-4°.

Pasquier (**Ern.**). — La Terre tourne-t-elle? Réponse à M. Anspach. (Extr. de la *Revue de l'Université de Bruxelles*, mars 1904.) Bruxelles, Lefèvre, 1904. 1 br. in-8°.

Pellat (**H.**). — Du rôle des corpuscules dans la formation du faisceau anodique des tubes à gaz raréfiés. (Extr. *Boltzmann-Festschrift*, 1904.) 1 fasc. in-8°.

Pellat (**H.**) et **Leduc** (**A.**). — Détermination de l'équivalent électrolytique de l'argent. (Extr. des *Comptes rendus*, 29 juin 1903.)

Pionchon (**J.**). — Leçons d'Électricité industrielle : induction magnétique, induction. (Institut électrotechnique de l'Université de Grenoble.) A. Gratier et J. Rey, 1903. 1 vol. in-8°.

Poincaré (**A.**). — Combinaison des effets barométriques de la révolution synodique et de la rotation terrestre. (Annexe au 3e sous-chapitre du Chapitre III.) Onde de 348e aux différentes latitudes. Variations quotidiennes aux différentes latitudes. Schéma hémisphérique de la composante normale et de l'attraction méridienne. (Manuscrit.)

Pouillet. — Éléments de Physique expérimentale et de Météorologie (4e édition). Paris, Béchet jeune, novembre 1844. 2 vol. in-8°.

Poynting (**John-H.**). — Recent studies in gravitation. (Extr. *The Smithsonian Report*, 1901.) 1 fasc. in-8°.

Rayleigh (**Lord**). — On flight. (Extr. *The Smithsonian Report*, 1900.) 1 fasc. in-8°.

Rothé (**Edmond**). — Contribution à l'étude de la polarisation des électrodes. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars, 1904. In-8°.

Roux (**E.**). — Sur les bases nouvelles dérivées des sucres. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars, 1903. 1 br. in-8°.

Rücker (**Arthur-W.**). — A model of nature. (Extr. *The Smithsonian Report*, 1901.) 1 fasc. in-8°.

Die Theorie der optischen Instrumente (I). — Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten vom Standpunkte der geometrischen Optik. Bearbeitet von den wissenschaftlischen Mitarbeitern an der optischen Werkstätte von Carl Zeiss, P. Culmann, S. Czapski, A. König, F. Löwe, M. von Rohr, H. Siedentopf, E. Wandersleb. Herausgegeben von M. von Rohr. Berlin. Julius Springer, 1904. 1 vol. in-8°.

Sainte-Claire Deville. — Sur les variations du pouvoir éclairant par incandescence des gaz combustibles en fonction de leur pouvoir calorifique. (Extr. du *Recueil des Travaux et Comptes rendus des Séances*, publié par les soins de la Société technique de l'Industrie du Gaz en France. — Commission internationale de photométrie instituée par le Congrès international du Gaz en 1900. Paris, P. Mouillot, 1903.) 1 fasc. in-8°.

Sartiaux (**E.**) et **Aliamet** (**M.**). — Principales découvertes et publications concernant l'Électricité de 1562 à 1900. Paris, J. Rueff, 1903. 1 vol. in-8°.

Semenov (**Jules**). — Recherches expérimentales sur l'étincelle électrique (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1904. 1 br. in-8°.

— Recherches expérimentales sur l'étincelle électrique (Thèse). Paris, Gauthier-Villars, 1904. 1 vol. in-8°.

Spring (**W.**). — Sur la décomposition de quelques sulfates acides à la suite d'une déformation mécanique. (*Recueil des Travaux chimiques d. P. B. de la Belgique,* t. XXIII.) 1 br. in-8°.

— Sur la diminution de densité qu'éprouvent certains corps à la suite d'une forte compression et sur la raison probable de ce phénomène. (Extr. du *Bulletin de l'Académie royale de Belgique,* nov. 1903.) 1 fasc. in-8°.

Swyngedauw (**R.**). — Phénomènes fondamentaux et principales applications du courant alternatif. Lois fondamentales du courant électrique. Généralités sur le courant alternatif. Alternateurs et moteurs. Transformateurs et convertisseurs. Paris, V^e^ Ch. Dunod, 1904. 1 vol. in-8°.

Thomson (**Elihu**). — Electricity during the nineteenth Century. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1900.) 1 fasc. in-8°.

Thomson (**J.-J.**). — On bodies smaller than atoms. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1901.) 1 fasc. in-8°.

Thurston (**Robert-H.**). — Utilising the Sun's energy. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1901.) 1 fasc. in-8°.

Tribondeau. — Monographie agricole du Pas-de-Calais. (Mémoires publiés par la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale. Supplément au numéro de janvier 1904.) 1 fasc. in-4°.

Watteville (**Charles de**). — Spectres de flammes. Variations spectrales d'ordre thermique (Thèse). Évreux, Charles Hérissey, 1904. 1 br. in-8°.

Wind (**C.-H.**). — Sur la règle des phases de Gibbs. (Extr. des *Archives néerlandaises des Sciences exactes et naturelles.*) 1 br. in-8°.

— Eine Gleichung für den osmotischen Druck in concentrirten Lösungen. (Extr. des *Archives néerlandaises des Sciences exactes et naturelles.*) 1 br. in-8°.

Witz (**Aimé**). — Les températures thermodynamiques et le zéro absolu. (Extr. *Revue des Questions scientifiques,* 1904.) 1 br. in-8°.

Wood (**R.-V.**). — The photography of sound waves and the demonstration of the evolutions of reflected wave fronts with the cinematograph. (Extr. *The Smithsonian Report,* 1900.) 1 fasc. in-8°.

Graduates on the Michigan College of Mines. Houghton, Michigan. Printed for the College, june 1904. 1 br. in-8°.

Year Book of the Michigan College of Mines, 1903-1904, announcement of courses for 1904-1905. Houghton, Michigan. Published by the College, june 1904. 1 br. in-8°.

Université de Liége. — Les installations et les programmes de l'Institut électrotechnique de Montefiore. Paris, Gauthier-Villars, 1903. 1 fasc. in-4°.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1905.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, PARIS (6e).

(1905.)

BUREAU.

MM. DUFET (H.), *Président.*
AMAGAT (E.-H.), *Vice-Président.*
ABRAHAM (H.), *Secrétaire général.*
LANGEVIN (P.), *Secrétaire.*
LUGOL, *Vice-Secrétaire.*
DE LA TOUANNE, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :		*Membres non résidants :*	
MM. ARMAGNAT.	1903.	MM. BIRKELAND (Christiania).	1903.
COTTON (A.).		GARBE (Poitiers).	
DONGIER (R.).		IZARN (Clermont-Ferrand).	
PÉROT (A.).		NAGAOKA (Tokio).	
Mme CURIE.	1904.	BLASERNA (Rome).	1904.
MM. HAMY (M.).		MAURAIN (Caen).	
MARAGE.		MICULESCU (Bucarest).	
PERRIN (J.).		TISSOT (Brest).	
BLONDIN.	1905.	BEAULARD (Montpellier).	1905.
GUILLET.		GUILLOZ (Nancy).	
JOBIN.		KOWALSKI (DE) (Fribourg).	
LEMOINE (J.).		LANG (VON) (Vienne).	

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM.	FIZEAU.
1874.		BERTIN.
1875.		JAMIN.
1876.		QUET.
1877.		BECQUEREL (Ed.).
1878.		BLAVIER.
1879.		BERTHELOT.
1880.		MASCART.
1881.		CORNU.
1882.		GERNEZ.
1883.		JANSSEN.
1884.		POTIER.
1885.		MAREY.
1886.		SEBERT.
1887.		WOLF.
1888.		ROMILLY (de).
1889.		MASCART.
1890.		MALLARD.
1891.		FRIEDEL.
1892.		VIOLLE.
1893.		LIPPMANN.
1894.		JOUBERT.
1895.		CAILLETET.
1896.		BOUTY.
1897.		BECQUEREL (H).
1898.		BENOIT (R.)
1899.		BASSOT.
1900.		CORNU.
1901.		PELLAT.
1902.		POINCARÉ (H.).
1903.		GARIEL (C.-M.).
1904.		ARSONVAL (D').

MM. ALMEIDA (d'), *Secrétaire général, Fondateur* (1873-1880).
JOUBERT, *Secrétaire général honoraire* (1880-1890).
PELLAT, *Secrétaire général honoraire* (1891-1898).
POINCARÉ (L.), *Secrétaire général honoraire* (1899-1900).
NIAUDET, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1875-1882).
MAURAT, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1883-1890).
GAY, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1891-1898).

MEMBRES HONORAIRES (1).

MM. **KELVIN** (**Lord**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

BELL (**Alex. Graham**), de Washington (États-Unis).

BERTHELOT (**M.**), Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, Membre de l'Académie Française.

JANSSEN (**J.**), Membre de l'Institut.

MASCART (**E.-E.-N.**), Membre de l'Institut.

POTIER (**A.**), Membre de l'Institut.

VAN DER WAALS (**G.-D.**), Professeur à l'Université d'Amsterdam (Hollande).

DONATEURS (2).

	fr.
COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI (**Baron d'EICHTHAL**)	2000
COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI	1000

(1) *Membres honoraires décédés :*

MM.	A. Becquerel.	1874-78.
	V. Regnault.	1876-78.
	Secchi.	1876-78.
	Billet.	1876-82.
	Plateau.	1880-83.
	Jamin.	1882-86.
	Edlund.	1884-88.
	Broch.	1878-89.
	Joule.	1878-89.
	Hirn.	1890-90.
	Ed. Becquerel.	1882-91.
	Fizeau.	1873-96.
	Bertrand.	1890-1900.
	Rowland.	1893-1901.
	Cornu.	1895-1902.
	Stokes.	1878-1902.

Extrait des Statuts : Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'Étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(2) Les noms des personnes qui auront donné à la Société une somme supérieure ou égale à 500 francs resteront inscrits, avec le chiffre de la donation, immédiatement après les Membres honoraires, et avant les Membres à vie, sous

	fr.
MM. **GUEBHARD**, Agrégé des Facultés de Médecine (pour l'amélioration de la Bibliothèque)	10000
ANONYME (pour aider à la publication du volume des *Constantes*)	5000
JENNESSON, Principal de Collège (Legs)	500
ANONYME (Solde des comptes de la Société chez MM. Gauthier-Villars et fils)	5547,50
BISCHOFFSHEIM, Membre de l'Institut	1500
SAUTTER et **LEMONNIER**, Une machine dynamo.	
JEUNET, Ancien Professeur au Lycée d'Angoulême	500
ROTHSCHILD (**Baron Edmond de**)	300
CANET	300
MARTIN (**Ch.**), de Chartres (Legs)	1000
ANONYME (pour la publication du tome I des *Données numériques*)	11000
ANONYME (pour la publication du tome II des *Données numériques*)	9600
GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome I des *Données numériques*)	850,25
GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome II des *Données numériques*)	734,25
COPPET (**de**) (pour la publication des *Données numériques*)	1000
ANONYME (pour aider à la publication du tome III des *Données numériques*)	6000
ANONYME (pour aider à la publication des Mémoires)	5000
ANONYME (pour missions scientifiques)	2000
NOGUÉ (**Émile**)	300
ROMILLY (**Félix Worms de**)	150000

MEMBRES A VIE (1).

MM. * D'Abbadie, Membre de l'Institut.

Abraham (Henri), Maître de Conférences à l'École Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm, Paris, 5e.

* Abria, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

* D'Almeida, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.

---

le titre de Donateurs. Les Membres à vie pourront acquérir ce titre en ajoutant une somme de 300 francs à leur souscription perpétuelle. (Décision du Conseil du 1er décembre 1891.)

(1) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État, et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (Statuts, art. 3, dernier paragraphe.)

* Membres décédés.

MM. * Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique.

Amagat, Membre de l'Institut, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 19, avenue d'Orléans. Paris, 14e.

Ancel (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, 13, rue Brochant. Paris, 17e.

Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, Professeur à l'Institut National Agronomique, 12, avenue de l'Alma. Paris, 8e.

Arnoux (René), Ingénieur civil, 45, rue du Ranelagh. Paris, 16e.

Arsonval (Dr d'), Membre de l'Institut, professeur au Collège de France, 12, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

Aubert, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome. Paris, 8e.

Babinski, Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf. Paris, 10e.

Baume-Pluvinel (comte de la), 7, rue de la Baume, Paris, 7e.

* Bandsept (Albert), Ingénieur.

Bardy (Charles), Directeur honoraire du service scientifique de Contributions indirectes, 30, rue de Miromesnil. Paris, 8e.

* Baron, ancien Directeur à l'Administration des Postes et des Télégraphes.

Bassée (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, 4, avenue de la Dame-Blanche, à Fontenay-sous-Bois (Seine).

Béclère (Dr Antoine), Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine, 122, rue de Boëtie, Paris, 8e.

Becquerel (Henri), Membre de l'Institut, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

Becquerel (Jean), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

Benoit (René), Correspondant de l'Institut, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

Berger (Dr Émile). Membre correspondant des Académies royales de Médecine de Belgique et de Madrid, 3, rue Anatole de la Forge. Paris, 7e.

Bertin, Membre de l'Institut, Directeur du matériel au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière. Paris, 6e.

Bienaymé, Inspecteur général du Génie maritime en retraite, à Toulon (Var).

Bischoffsheim (Raphaël-Louis), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout. Paris, 9e.

Bjerknes (Wilhelm), chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

* Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

MM. Bloch (Eugène), Agrégé, Docteur ès sciences, 18, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

Blondel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de La Bourdonnais. Paris, 7e.

Blondin, Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière. Paris, 9e.

Blondlot, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Boitel, Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux (Seine).

Bordé (Paul), Ingénieur-opticien, 29, boulevard Haussmann. Paris. 9e.

Bordet (Lucien), ancien Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, Administrateur de la Cie des forges de Châtillon et de Commentry, 181, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

Bourgeois (Léon), Dr ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri-IV. Paris, 4e.

Boulanger (Julien), Lieutenant-Colonel du Génie, Directeur des Services de la Télégraphie militaire et du Matériel de guerre du Génie, 2, rue Lecourbe. Paris, 15e.

Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce. Paris, 5e.

Branly (Dr E.), Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville. Paris, 7e.

* Bréguet (Antoine), Ancien élève de l'École Polytechnique.

Brewer, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain. Paris, 5e.

Brillouin, Professeur au Collège de France, 31, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

* Brion, Professeur au Lycée Saint-Louis.

* Brisse (Ch.), Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, Répétiteur à l'École Polytechnique.

Broca (Dr André), Répétiteur à l'École Polytechnique, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau. Paris, 7e.

Buisson, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Marseille (Bouches-du-Rhône).

Brunhes (Bernard), Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, Directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme.

* Buchin, Ingénieur électricien.

* Cabanellas, Ingénieur électricien.

Cadot, Professeur au Lycée Carnot, 145, boulevard Malesherbes. Paris, 17e.

Cailho, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart. Paris, 16e.

Canet, Directeur de l'Artillerie de MM. Schneider et Cie, Ancien Président de la Société des Ingénieurs civils, 87, avenue Henri-Martin. Paris, 16e.

Carpentier (Jules), Ingénieur-Constructeur, Membre du Bureau des Longitudes, 34, rue du Luxembourg. Paris, 6e.

MM. CARIMEY, Professeur au Lycée Saint-Louis. Paris, 6e.

CARVALLO, Examinateur des élèves à l'Ecole Polytechnique, 1, rue de Clovis. Paris, 5e.

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

* CAURO (Joseph), Docteur ès sciences, Ancien Élève de l'École Polytechnique.

CHABAUD (Victor), Constructeur d'instruments de Physique, 58, rue Monsieur-le-Prince. Paris, 6e.

CHAIRY, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh. Paris, 6e.

CHANCEL (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

* CHAUTARD, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille.

CHAUVEAU, Ancien Élève de l'École normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau Central, 32, avenue Rapp. Paris, 7e.

CHAUVIN (Raphaël), Ingénieur électricien, 186, rue Championnet. Paris, 18e.

CHAVES (Antonio-Ribeiro), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janerio (Brésil).

* CHERVET, Professeur au Lycée Saint-Louis.

CLAVERIE, Censeur au Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin. Paris, 9e.

CLÉMENT (Louis), 18, rue Louis-le-Grand. Paris, 2e.

COLARDEAU (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin, 13, rue de Navarin. Paris, 9e.

COLIN (Th.), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue Victor-Considérant. Paris, 14e.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann. Paris, 9e.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire. Paris, 9e.

* CONTAL, Préparateur de Physique au Collège Rollin.

COPPET (DE), villa de Coppet, rue Magnan, à Nice (Alpes-Maritimes).

* CORNU (A.), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique.

COTTON (A.), Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 49, rue Saint-André-des-Arts. Paris, 6e.

COURTOIS (l'abbé F.), Missionnaire, Église Saint-Joseph, à Chang-Haï (Chine).

CULMANN (Paul), Docteur ès sciences, 28, rue Vauquelin. Paris, 5e.

CURIE (Mme Sklodowska), Professeur à l'École normale supérieure d'Enseignement secondaire pour les Jeunes filles, 108, boulevard Kellermann. Paris, 13e.

CURIE (Pierre), Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Kellermann. Paris, 13e.

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas, 44, rue de Fleurus. Paris, 6e.

MM. Defforges (Colonel G.), commandant le 36e régiment d'Infanterie, 12, rue Saint-Gabriel, Caen (Calvados).

Delebecque, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon (Haute-Savoie).

Diot, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet. Paris, 17e.

* Dollfus (Eugène), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Mulhouse (Alsace).

Dongier, Docteur ès Sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Physique (Enseignement) de la Faculté des Sciences, 87 *bis*, Grande Rue, à Bourg-la-Reine (Seine).

Drouin (Félix), Ingénieur, 1 *bis*, avenue de Longchamps, à Boulogne-sur-Seine (Seine).

* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.

* Duclaux, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur.

Duclos, Ancien Directeur d'École normale à Cérisols, par Fabut (Ariège).

Dufet (H.), Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète. Paris, 5e.

Dumoulin-Froment, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

Durand, Préparateur à la Faculté des Sciences, 50, rue Monge. Paris, 5e.

Dybowski, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg. Paris, 12e.

Engel, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 2, rue Rosa-Bonheur. Paris, 7e.

Faivre-Dupaigre, Inspecteur d'Académie, 95, boul. St-Michel. Paris, 5e.

Favé, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, 1, rue de Lille. Paris, 7e.

Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

Fontaine (Hippolyte), Ingénieur électricien, 58, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

Fortin (Charles), 59, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

Foussereau, Docteur ès sciences, 5, place de Jussieu. Paris, 5e.

Foveau de Courmelles (Dr), 26, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

Fredet (Henri), Industriel, à Brignoud (Isère).

* Friedel, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Galimard, Industriel, à Flavigny-sur-l'Ozerain (Côte-d'Or).

Gall (Henry), Directeur de la Société d'Électrochimie, 5, rue Albert-Joly, à Versailles (Seine-et-Oise).

Gariel (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille. Paris, 17e.

Gascard (A.), Professeur à l'École de Médecine, Pharmacien des hôpitaux, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen (Seine-Inférieure).

MM. Gaumont (L.), Directeur du Comptoir général de Photographie, 57, rue Saint-Roch. Paris, 1er.

* Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur.

Gay (Jules), Examinateur à l'École Militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette. Paris, 6e.

Gayon, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Dufour-Dubergier, à Bordeaux (Gironde).

Gernez, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 80, rue d'Assas. Paris, 6e.

Godard (Léon), Docteur ès sciences, 28, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

Godefroy (l'abbé), Ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.

Godron (H.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 52, quai du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

Goisot (G.), Ingénieur de la Société anonyme des anciens Établissements Parvillée frères et Cie, 10, rue Bélidor. Paris, 17e.

Goloubitzky, Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

* Gotendorf (Silvanus).

Gouré de Villemontée, Docteur ès Sciences, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy. Paris, 5e.

Gramont (Arnaud de), Docteur ès sciences, 81, rue de Lille. Paris, 7e.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works Co limited, à Londres (Angleterre).

Grosseteste (William), Ingénieur, 67, avenue Malakoff. Paris, 16e.

Grouvelle, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

Guébhard (Dr Ad.), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes).

* Hugo (comte Léopold).

Hamy (Maurice), Astronome titulaire à l'Observatoire, 16, rue de Bagneux. Paris, 6e.

Hemptinne (Alexandre de), 56, rue de la Vallée, à Gand (Belgique).

Huet (Ernest), Docteur en Médecine, 21, rue Jacob. Paris, 6e.

Husson (Léon), Contrôleur du câble télégraphique, à Haïphong (Tonkin).

Infreville (Georges d'), Électricien de la *Western Union Telegraph*, Expert de la *National Bell Telephone Co*, 110, Liberty Street, New-York (États-Unis).

* Jamin, Membre de l'Institut.

Janet (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 6, rue du Four. Paris, 6e.

Javal, Membre de l'Académie de Médecine, 5, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7e.

MM. Javal (Jean), Membre du Conseil général de l'Yonne, 45, rue de Boulainvilliers. Paris, 16e.

Javaux (Émile), Administrateur-Directeur de la Société *Gramme*, 20, rue d'Hautpoul. Paris, 19e.

* Jennesson, Ancien Principal.

Jénot, Professeur honoraire au Collège Rollin, 17, rue Caulincourt. Paris, 18e.

* Jeunet, Professeur honoraire.

Jobin (A.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, successeur de M. Laurent, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

* Joly, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

Joubert, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet. Paris, 15e.

* Kerangué (Yves de), Capitaine en retraite.

Knoll, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand. Paris, 5e.

Kœchlin (Horace), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

Korda (Désiré), Ingénieur, Administrateur de la Société française d'électricité A. E. G., 15, rue Ambroise-Thomas. Paris, 9e.

Korolkoff (Alexis), Lieutenant-Colonel d'Artillerie russe, Professeur de physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

Krouchkoll, Docteur ès sciences et Docteur en médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 150, avenue Wagram. Paris, 17e.

Lacour, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère. Paris, 17e.

Lapresté, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet. Paris, 15e.

Laurent (Léon), Ancien constructeur d'instruments d'optique, 21, rue de l'Odéon. Paris, 5e.

Laviéville, 14, rue Soufflot. Paris, 5e.

Le Bel, Ancien Président de la Société chimique, 250, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

Leblanc (Maurice), Ancien Élève de l'École Polytechnique, villa Montmorency, 1, avenue de Bouflers. Paris, 16e.

* Lechat, Professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand.

Le Chatelier (André), Ingénieur en chef de la Marine, 331, rue Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Le Chatelier (Henry), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

Le Chatelier (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara. Paris, 5e.

* Le Cordier (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

Leduc (A.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 84, boulevard Saint-Michel.

MM. LEFEBVRE (Pierre), Professeur au Lycée, 67, boulevard Faidherbe, à Douai (Nord).

LEMOINE (E.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Chef honoraire du Service de la vérification du Gaz, 4, boulevard de Vaugirard. Paris, 15e.

* LEMONNIER, Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique.

* LEMSTRÖM (Selim), Professeur émérite de l'Université de Helsingfors (Finlande).

LEQUEUX, Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac. Paris, 2e.

LEROY, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail. Paris, 14e.

* LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

* LÉTANG (Paul), Ingénieur électricien.

LÉTANG (Dr Marc), 12, rue Desrenaudes. Paris, 17e.

LEUILLIEUX (Dr), Médecin de la Cie des Chemins de fer de l'Ouest, à Conlie (Sarthe).

LIMB, Docteur ès sciences, Ingénieur, Conseil de la Maison Gindre frères et Cie de Lyon, 8, quai d'Occident, à Lyon.

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon. Paris, 5e.

LYON (Gustave), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart. Paris, 9e.

* MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences de Marseille (Bouches-du-Rhône).

MACH (Dr E.), Professeur de Physique à l'Université de Vienne (Autriche).

MACQUET (Auguste), Ingénieur au corps des Mines, Professeur à l'Ecole des Mines du Hainaut, à Mons (Belgique).

* MALLARD, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Professeur de Minéralogie à l'École des Mines.

MANEUVRIER, Directeur adjoint du Laboratoire des Recherches (Physique) à la Sorbonne. Paris, 5e.

MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne. Paris, 4e.

* MARTIN (Ch.) de Chartres.

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université. Paris, 7e.

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

* MASSON (G.), Libraire-Éditeur.

MAURAIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen (Calvados).

* MAURAT, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis.

MENIER (Henry), 8, rue de Vigny. Paris, 8e.

MESLIN (G.), Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier (Hérault).

MESTRE, Ingénieur à la Cie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette. Paris, 10e.

MM. Métral (Pierre), Agrégé des Sciences Physiques, Professeur à l'École Colbert, 239 *bis*, rue Lafayette. Paris, 10e.

* Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

Michel (Auguste), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy. Paris, 10e.

Molteni (A.), 15, rue Origet, à Tours (Indre-et-Loire).

* Moncel (Comte du), Membre de l'Institut.

Montefiore (Lévi), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, à Liége (Belgique).

Morize (Henri), Ingénieur civil, Docteur ès sciences, Professeur de physique à l'École Polytechnique, rua Princeza Impérial, n° 20, Antiago, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

Moser (Dr James), Privat-Docent à l'Université, VIII/1, Laudon-gasse, 25, à Vienne (Autriche).

Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court. Temple E. C., Londres (Angleterre).

Nagaoka (H.), Docteur ès sciences, Professeur de Physique à l'Université de Tokio (Japon).

Nerville (de), Ingénieur des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu. Paris, 8e.

Nodon (Albert), Ingénieur-Conseil, 12, rue de Moulis, à Bordeaux (Gironde).

Nogué (Émile), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas. Paris, 6e.

* Niaudet, Ingénieur civil.

Ogier (Jules), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse. Paris, 7e.

Ollivier (A.), Ingénieur civil, 2, rue Manuel. Paris, 9e.

Oumoff (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

Palmade, Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

Palmade (F.), Chef de Bataillon du Génie, Chef du Génie, à Bourges (Cher).

Patte (Lucien), Professeur au Lycée, 12, rue Louis-Joblot, à Bar-le-Duc (Meuse).

Pavlidès (Démosthènes), Docteur en Médecine.

Pellat (H.), Professeur à la Faculté des Sciences, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liége (Belgique).

* Pérot, Dessinateur et Graveur.

Pérot (Alfred), Professeur honoraire de la Faculté des Sciences de Marseille, Directeur du Laboratoire d'Essai au Conservatoire national des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin. Paris, 3e.

Perreau, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MM. Perrier (Lieutenant), État-Major de l'Armée, Service géographique, 140, rue de Grenelle. Paris, 7e.

Picou (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 47, rue Saint-Ferdinand. Paris, 17e.

Piltschikoff (Nicolas), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

Poincaré (A.), Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, 10, rue de Babylone. Paris, 7e.

Poincaré (Lucien), Inspecteur général de l'Instruction Publique, 130, rue de Rennes. Paris, 6e.

Pollard (Jules), Directeur du Génie maritime, Directeur de l'Établissement d'Indret, par Basse-Indre (Loire-Inférieure).

Popp (Victor), Ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 9, rue Margueritte. Paris, 17e.

Potier, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

Poussin (Alexandre), Ingénieur, 7, rue de l'Équitation, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Prieur (Albert), Industriel, 76, boulevard Malesherbes. Paris, 6e.

Pupin, Docteur en Médecine, 27, quai de la Tournelle. Paris, 5e.

Puyfontaine (Comte de), 34, avenue Friedland. Paris, 8e.

* Raffard (N.-J.), Ingénieur.

Raveau (C.), Physicien au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, 61, boulevard Sébastopol. Paris, 7e.

Raymond, Ingénieur principal des Messageries maritimes à la Ciotat (Bouches-du-Rhône).

* Raynaud, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

Renault (Albert), 7, rue Paul-Louis Courier. Paris, 7e.

Ribière (Charles), Ingénieur des Ponts et Chaussées (Service des phares), 13, rue de Siam. Paris, 16e.

* Rigout (A.), Docteur en Médecine.

* Rilliet, Professeur à l'Université de Genève (Suisse).

Rivière (Charles), Professeur au Lycée Saint-Louis, 30, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

Rodde (Ferd.), 61, rue Rochechouart. Paris, 9e.

Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).

Rodocanachi (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne. Paris, 8e.

* Roger, Chef d'institution honoraire.

* Romilly (Félix Worms de), ancien Président de la Société française de Physique.

Romilly (Paul Worms de), Ingénieur en chef des Mines, 7, rue Balzac. Paris, 8e.

Rothschild (baron Edmond de), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré. Paris, 8e.

Rozier (F.), Docteur en Médecine, 19, rue du Petit-Pont Paris, 5e.

Sagnac (G.), Chargé des cours à la Faculté des Sciences, 4, rue Boissonnade. Paris, 14e.

MM. Sainte-Claire Deville (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 12, rue Alphonse-de-Neuville. Paris, 17e.

* Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.

Saintignon (F. de), Maître de Forges à Longwy (Meurthe-et-Moselle).

* Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences.

Schwedoff, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

Sebert (le Général), Membre de l'Institut, Administrateur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 14, rue Brémontier. Paris, 17e.

Seligmann-Lui, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart. Paris, 16e.

Sentis, professeur au Lycée, 17, boul. de Bonne, à Grenoble (Isère).

Serpollet, Ingénieur, 9, rue de Stendhal. Paris, 20e.

Siegler (Jean), Élève ingénieur à l'École des Mines, 48, rue Saint-Lazare. Paris, 9e.

* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres (Angleterre).

Strauss, Colonel Directeur du Génie, à Toul (Meurthe-et-Moselle).

Street (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 56, rue de Londres. Paris, 9e.

Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg (Russie).

Termier, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 71, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

* Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

Thélier (Marcel), 24, rue Cassette. Paris, 6e.

* Thollon, Physicien à l'Observatoire de Nice.

Thomas, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger (Algérie).

Thouvenel, Professeur au Lycée Charlemagne, 19, boulevard Morland. Paris, 4e.

Tombeck, Docteur ès sciences, 59, boulevard Pasteur. Paris, 15e.

Touanne (G. de la), Ingénieur des Télégraphes, 80, rue Bonaparte. Paris, 6e.

Troost, Membre de l'Institut, 84, rue Bonaparte. Paris, 6e.

Tuleu, Ingénieur, 58, rue Hauteville. Paris, 10e.

Ullmann (Jacques), Constructeur électricien, 16, boulevard Saint-Denis. Paris, 10e.

Vagniez (Edouard), à Amiens (Somme).

* Van den Kerchove, Sénateur, Gand (Belgique).

* Vaschy, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique.

Vautier (Théodore), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon (Rhône).

* Verrier (J.-F.-G.).

Villard (P.), Docteur ès sciences, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

Villiers (Antoine), Professeur à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire. Paris, 14e.

MM. VINCENT (G.), Professeur au Lycée Saint-Louis, 207, rue de Vaugirard. Paris, 15e.

VIOLLE, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

WALCKENAER, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Mines, 218, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

WALLON (E.), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony. Paris, 17e.

* WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut.

WEISS (Dr Georges), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin. Paris, 16e.

WEISS (Pierre), Professeur à l'Institut de Physique de Zurich (Suisse).

WERLEIN (Ivan), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm. Paris, 5e.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de machines, 36, rue Ampère. Paris, 17e.

WUILLEUMIER (H.), Docteur ès Sciences, 20 *bis*, rue Chaptal. Paris, 9e.

* WUNSCHENDORFF, Ingénr-Administr des Postes et des Télégraphes.

WYROUBOFF, Professeur au Collège de France, 20, rue Lacépède. Paris, 5e.

BECKER, Prépr de Physique au Collège Rollin, av. Trudaine. Paris, 9e.

BLOCH (Salvador), Professeur au Lycée Saint-Louis, 13, rue de l'Estrapade. Paris, 5e.

BOIZARD, Agrégé, Préparateur de physique à la Faculté des Sciences, 21, rue Cail. Paris, 10e.

BOURGAREL (Paul), Professeur au Lycée Carnot, 145, boulevard Malesherbes. Paris, 17e.

CRÉMIEU (Victor), Docteur ès Sciences, 6, rue d'Ulm. Paris, 5e.

DELVALEZ (G.), Professeur au Lycée Condorcet, 16, avenue Ledru-Rollin. Paris, 12e.

DEVAUX-CHARBONNEL, Ingénieur des Télégraphes, 160, boulevard Montparnasse. Paris, 14e.

DUBOIS (René), Professeur à l'École Turgot, 23, rue des Fossés-Saint-Jacques. Paris, 5e.

DUFOUR (A.), Agrégé, Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

GÉRARD (Anatole), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières. Paris, 18e.

GIBERT, Professeur de Physique à l'École Colbert, 146, boulevard Magenta. Paris, 10e.

GINSBERG (Alexandre), Collaborateur scientifique de la maison Krauss.

MM. Guillet, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 158, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

Icole (Léon), professeur au Lycée de Douai (Nord).

Jacobs (Fernand), Président de la Société Belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

Judic, Ingénieur électricien, 82, boulevard de Clichy. Paris, 9e.

Lafay (A), Capitaine, Professeur à l'École polytechnique, 98, rue d'Arcueil, à Malakoff (Seine).

Mesnager (Augustin), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur des Canaux de la ville de Paris, 162, rue de Rivoli. Paris, 1er.

Simon (L.-J.), Sous-Directeur du Laboratoire de Chimie à l'École Normale Supérieure, 15, rue Vauquelin. Paris. 5e.

Perrin (Jean), chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 18, boulevard Arago. Paris, 14e.

Rothé, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Grenoble (Isère).

Timiriazeff, Professeur à l'Université et à l'Académie Agronomique de Moscou (Russie).

Willot (A.), Licencié ès Sciences, 24, rue Cassette. Paris, 6e.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRAHAM (**Henri**), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

ADAM (**Étienne**), Professeur au Lycée Voltaire, 19, avenue du Bel-Air. Paris, 12e.

ALBERTOTTI (**Guiseppe**), Professeur d'Oculistique à l'Université de Modène (Italie).

ALLAIRE (Dr **G.**), Chef des travaux de Physique à l'École de Médecine et de Pharmacie, Chef du Service d'électrothérapie et de radiographie de l'Hôtel-Dieu, 5, rue Santeuil, à Nantes (Loire-Inférieure).

ALLARD (**Félix**), Docteur en Médecine, 23, rue Blanche. Paris, 9e.

ALLUARD, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

AMAGAT (**E.-H.**), Membre de l'Institut, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique. 19, avenue d'Orléans. Paris, 14e.

AMES (**Joseph-S.**), Professor of Physics, Director of the Physical Laboratory, John Hopkins University, Baltimore, Maryland (U. S. A.).

ANCEL (**Louis**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 13, rue Brochant. Paris, 16e.

ANDRAULT (**Louis-Gustave-Adolphe**), chargé de Cours de Physique au Lycée, 5, avenue de Veynes, à Gap (Hautes-Alpes).

ANDRÉ (**Ch.**), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Lyon (Rhône).

ANGOT (**Charles-Alfred**), Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, Professeur à l'Institut national agronomique, 12, avenue de l'Alma. Paris, 8e.

APPERT (**Louis**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 50, rue de Londres. Paris, 8e.

ARGYROPOULOS, Recteur de l'Université, à Athènes (Grèce).

ARMAGNAT, Ingénieur, 20, rue Delambre. Paris, 14e.

ARNOUX (**René**), Ingénieur civil, 45, rue du Ranelagh. Paris, 16e.

ARNOYE (**Léon**), Professeur au Lycée, 40, rue Gasseras, à Montauban (Tarn-et-Garonne).

ARSONVAL (Dr **d'**), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 12, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

ARTH, Chargé d'un Cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences, 7, rue de Rigny, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

ARTHAUD (Dr), Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 40, rue Denfert-Rochereau. Paris, 5e.

ASSIER DE POMPIGNAN, Lieutenant de vaisseau, Attaché au Service hydrographique de la Marine, 13, rue de l'Université. Paris, 7e.

MM.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 13, rue Bernoulli. Paris, 8e.

AUBERT (**Paul**), Professeur au Collège Stanislas, 2 *bis*, rue de l'Orangerie, à Meudon (Seine-et-Oise).

AUBRY (**Alfred-Joseph**). Professeur au Lycée de Saint-Étienne (Loire).

AUGÉ, Docteur en Médecine, 16, boulevard de la Gare, à Narbonne (Aude).

AUPAIX (**Charles**), Professeur au Lycée, 8, place Saint-Hilaire, à Niort (Deux-Sèvres).

AYET (**l'abbé**), Professeur de Mathématiques à l'École Fénelon, à Bar-le-Duc (Meuse).

BABINSKI (**Henri**), Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

BABLON, 42, rue Boulard. Paris, 14e.

BAGARD (**H**), Professeur à la Faculté des Sciences, 3, rue du Docteur-Bally, à Grenoble (Isère).

BAILLAUD (**B.**), Doyen honoraire de la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Toulouse (Haute-Garonne).

BAILLAUD (**Jules**), Aide-astronome à l'Observatoire de Paris.

BAILLE (**J.-B.**), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 26, rue Oberkampf. Paris, 11e.

BANET-RIVET (**P.**), Professeur au Lycée St-Louis, 4, r. de Siam. Paris, 16e.

BARBASTE (**Antoine**), Licencié ès sciences physiques, à Antrain-sur-Couesnon (Ille-et-Vilaine).

BARBÉ (Dr), 54, rue Cazault, à Alençon (Orne).

BARBILLION (**Louis**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, Sous-Directeur de l'Institut électrochimique, 9, rue Villars, à Grenoble (Isère).

BARDY (**Charles**), Directeur honoraire du Service scientifique des Contributions indirectes, 30, rue de Miromesnil. Paris, 8e.

BARNES (**Howard-Turner**), Doctor of Science, Assistant Professor of Physics, Dept. of Physics, Mc Gill University, Montreal (Canada).

BARRET (**G.**), Docteur en Médecine, 1, rue Lavoisier. Paris, 8e.

BARTH (**Johann-Ambrosius**), Libraire, Rossplatz, 17, à Leipzig (Allemagne).

BARY (**Paul**), Ingénieur électricien, 33, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine.

BASSAC, Professeur au Lycée de Marseille (Bouches-du-Rhône).

BASSÉE (**Jules-Charles**), Constructeur d'instruments de Physique, 4, avenue de la Dame-Blanche, a Fontenay-sous-Bois (Seine).

BASSET (**Alphonse**), Professeur au Lycée de Bourges (Cher).

BASSOT (le Général), Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Nice (Alpes-Maritimes).

BATTELLI (**Angelo**), Professeur à l'Université de Pise (Italie).

BAUD (**Félix**), Professeur au Collège d'Ajaccio (Corse).

BAUDEUF-BAYARD (Mme **Henriette**), Professeur au Lycée de Jeunes filles, 97, rue Bègles, à Bordeaux (Gironde).

BAUME PLUVINEL (Comte **Aymar de la**), 7, rue de la Baume. Paris, 7e.

MM.

BAUMGART (**Ch.**), Agrégé de l'Université, rue Zawodskaya, 8, Log. 2, à Saint-Pétersbourg (Russie).

BEAULARD (**Fernand**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, Université de Montpellier, 41, boulevard des Arceaux, à Montpellier (Hérault).

BECKER, Préparateur au Collège Rollin, avenue Trudaine. Paris, 9e.

BECLÈRE (Dr **Antoine**), Médecin de l'Hôpital Saint-Antoine, 122, rue de la Boëtie. Paris, 8e.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal, à Grasse (Alpes-Maritimes).

BECQUEREL (**Henri**), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

BECQUEREL (**Jean**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 6, rue Dumont-d'Urville. Paris, 16e.

BÉDART, Professeur agrégé de Physiologie à la Faculté de Médecine, 15, rue Masséna, à Lille (Nord).

BÉDOREZ, Inspecteur d'Académie, Directeur de l'Enseignement primaire du département de la Seine, 21, quai de Montebello. Paris.

BÉGHIN (**Auguste**), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, Directeur du Laboratoire municipal, 30, rue Saint-Antoine, à Roubaix (Nord).

BEL (**Edgar**), Professeur au Lycée d'Oran (Algérie).

BELL (**Alexander-Graham**), 1331, Connecticut Ave., Washington, D. C. (U. S. A.).

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BÉNARD (**Henri**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 35 *bis*, rue de Condé, à Lyon (Rhône).

BENOIST (**Louis**), Professeur au Lycée Henri IV, 26, rue des Écoles. Paris, 5e.

BENOIT (Dr **René**), Correspondant de l'Institut, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres (Seine-et-Oise).

BERG (**Max**), Ingénieur de la Maison Krauss, 21, rue Albouy. Paris, 10e.

BERGER (Dr **Émile**), Membre correspondant des Académies Royales de Médecine de Belgique et de Madrid, 3, rue Anatole-de-la-Forge. Paris, 17e.

BERGON, Directeur au Ministère des Postes et Télégraphes, 9, rue de Condé. Paris, 6e.

BERGONIÉ (Dr), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine, 6 *bis*, rue du Temple, à Bordeaux (Gironde).

BERGONIER (**G**), Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 29, rue Tastet, à Bordeaux (Gironde).

BERLEMONT, Constructeur d'instruments de précision, 11, rue Cujas. Paris, 5e.

BERNARD (**Alfred**), Professeur en retraite, 16, rue Héliot, à Toulouse (Haute-Garonne).

BERNARD (**Louis**), Professeur au Lycée, 21, rue Saint-Éloi, à Orléans (Loiret).

MM.

BERNARD, Professeur au Collège d'Apt (Vaucluse).

BERNOULLI (Dr **Rud.**), Spichernstrasse, 78, à Cologne (Allemagne).

BERSON, Professeur au Lycée Condorcet, 5, place de Jussieu. Paris, 5e.

BERTHELOT, Sénateur, Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 3, rue Mazarine. Paris, 6e.

BERTHELOT (**Daniel**), Docteur ès sciences, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 3, rue Mazarine. Paris, 6e.

BERTIN, Membre de l'Institut, Directeur des Constructions navales au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière. Paris, 6e.

BERTIN-SANS (Dr **Henri**), Professeur à la Faculté de Médecine, 3, rue de la Merci, à Montpellier (Hérault).

BERTOUX, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Lille (Nord).

BESOMBES (**Noël**), Directeur des Postes et des Télégraphes, 33, boulevard National, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

BESSON (**Léon**), Ancien Officier de Marine, Chef de l'Agence à la Compagnie générale transatlantique, à Alger (Algérie).

BÉTOUX (**Victor**), Professeur au Lycée, 22, boulevard Saint-André, à Beauvais (Oise).

BIAIS (Dr), Professeur à l'École de médecine de Limoges (Haute-Vienne).

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS DE CAEN.

BIBLIOTHÈQUE DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE DE LILLE.

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Correspondant de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences, 6, rue des Jardiniers, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

BIED (**Jules**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Directeur du Laboratoire de la Société J. et A. Pavin de Lafarge, Le Teil (Ardèche).

BIENAYMÉ (**A.-F.-A.**), Inspecteur général du Génie maritime, en retraite, Correspondant de l'Institut, 14, rue du Revel, à Toulon (Var).

BIGET (**Albert**), Percepteur des Contributions directes, à Bologne (Haute-Marne).

BIRKELAND (**Kristian**), Professeur à l'Université de Christiania (Norvège).

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout. Paris, 9e.

BJERKNES (**Vilhelm**), Chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

BLAREZ (le Dr), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 3, rue Gouvion à Bordeaux (Gironde).

BLASERNA (**P.**), Sénateur, Professeur à l'Université, R. Instituto fisico, via Pianisperna, à Rome (Italie).

BLEIN (**Jean**), Agrégé, Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure, 117, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

BLOCH (**Salvador**), Profr au Lycée St-Louis, 13, rue de l'Estrapade. Paris, 5e.

BLOCH (**Eugène**), Agrégé, Docteur ès sciences, 18, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

MM.

BLOCH (**Moïse**), Professeur au Lycée de Belfort (Territoire de Belfort).

BLONAY (**Roger de**), 23, rue de La Rochefoucauld. Paris, 9e.

BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de la Bourdonnais. Paris, 7e.

BLONDIN (**Joseph**), Professeur au Collège Rollin, Directeur technique au journal *La Revue Électrique*, 171, rue du Faubourg-Poissonnière. Paris, 9e.

BLONDLOT (**R.**), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

BLUMBACH (**Theodor**), Membre de la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Empire de Russie, Perspective de Zabalkousky, à Saint-Pétersbourg (Russie).

BOBYLEFF, Profr de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOCAT (l'abbé), Licencié ès sciences physiques, Professeur au Collège Saint-François-de-Sales, rue Vannerie, à Dijon (Côte-d'Or).

BODOLA de ZAGON (**Louis**), Professeur de Géodésie à l'École Polytechnique, VII Damjanich, Budapest (Hongrie).

BOIS (Dr **E.-H. du**), Professeur à l'Université, Schiffbauerdamm, 21, à Berlin N. W. (Allemagne).

BOISARD (**Louis**), Profr au Lycée Carnot, 129, avenue de Wagram. Paris, 17e.

BOITEL (**Louis-Albert**), Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux (Seine).

BOIZARD, Agrégé, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 21, rue Cail. Paris, 10e.

BONAPARTE (Prince **Roland**), 10, avenue d'Iéna. Paris, 16e.

BONGIOVANNI (**Joseph**), Professeur de Physique à l'Université Farrara (Italie).

BORDÉ (**Paul**), Ingénieur opticien, 29, boulevard Haussmann. Paris, 9e.

BORDENAVE (**L.**), Ingénieur à l'usine Ménier, à Noisiel-sur-Marne (Seine-et-Marne).

BORDET (**Lucien**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, ancien Inspecteur des Finances, Administrateur de la Compagnie des forges de Châtillon et Commentry, 181, boulevard Saint-Germain. Paris, 6e.

BORDIER (Dr **Henri**), Professeur, Agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Thomassin, à Lyon (Rhône).

BORGMANN (**J.-J**). Professeur à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOSE (**Jagadis**, **Chunder**), Presidency College, à Calcutta (Indes anglaises).

BOUASSE (**Henri**), Professeur à la Faculté des Sciences, rue du Japon, à Toulouse (Haute-Garonne).

BOUCHARD (Dr), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine, 174, rue de Rivoli. Paris, 1er.

BOUCHEROT (**Paul**), Ingénieur Conseil, 14, rue Daumier. Paris, 16e.

BOUDIN, Professeur au Collège de Normandie, par Clères (Seine-Inférieure).

BOUDREAUX (**Léon**), Propriétaire et Directeur des Ateliers de Galvanoplastie, 8, rue Hautefeuille. Paris, 6e.

BOUDRET (**Eugène**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 39, rue Vital. Paris, 16e.

MM.

BOUÉ (Mlle **Marie**), Professeur au Lycée de Jeunes Filles, 17, rue de la Paix. Le Havre (Seine-Inférieure).

BOUIC, Professeur de Mathématiques au Lycée, 27, rue Saint-Léonard, à Angers (Maine-et-Loire).

BOULANGER (**Julien**), Lieutenant-Colonel du Génie, Directeur des Services de la Télégraphie militaire et du Matériel de Guerrre du Génie, 2, rue Lecourbe. Paris, 15e.

BOULÉ (**Auguste**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, 7, rue Washington. Paris. 8e.

BOULGAKOFF, Privat docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOULLAY, Professeur au Lycée de Rochefort sur-Mer (Charente-Inférieure).

BOULOUCH (**R.**), Professeur au Lycée de Bordeaux (Gironde).

BOURGAREL (**Paul**). Professeur au Lycée Carnot, 145, boulevard Malesherbes. Paris, 17e.

BOURGEOIS (**Léon**), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri-IV. Paris, 4e.

BOURGEOIS (**Robert**), Chef d'escadron d'Artillerie, Chef de la Section de Géodésie au Service Géographique de l'armée, 140, rue de Grenelle. Paris, 7e.

BOURGET (**Henry**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, Astronome adjoint à l'Observatoire, 20, rue Saint-Jacques, Toulouse (Haute-Garonne).

BOUTY (**E.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce. Paris, 5e.

BRANAS (**Fernandez-Gonzalo**), Professeur à l'Institut Provincial Ancha de San Andres, 3, La Coruna (Espagne).

BRANLY (**E.**), Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville. Paris, 7e.

BREWER (**William-J.**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain. Paris, 5e.

BRIEU (Mme), à Saint-Céré (Lot).

BRILLOUIN (**Marcel**), Professeur au Collège de France, 31, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie parisienne du Gaz, 58, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

BROCA (Dr **André**), Répétiteur à l'École Polytechnique, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau. Paris, 7e.

BROCQ (**F.**), Ingénieur en chef à la Compagnie des Compteurs, 185, rue de Vaugirard. Paris, 15e.

BROGLIE (**M. de**), Enseigne de vaisseau, 29, rue Chateaubriand. Paris, 8e.

BROWNE (**H.-V.**), Directeur de la Compagnie Direct Spanish Telegraph, à Barcelone (Espagne).

BRUNEL, Capitaine d'Artillerie à la Commission Centrale de réception des Poudres, à Versailles (Seine-et-Oise).

BRUNET (**Maurice**), Professeur au Lycée de Carcassonne (Aude).

MM.

BRUNHES (**Bernard**), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire du Puy de Dôme, 37, rue Montlosier, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

BUCHERER (**Alfred**), Dr. Phil. Privat Docent de Physique à l'Université de Bonn (Allemagne).

BUDDE (Dr **E.**), Professeur, Berlinerstrasse, 54, à Charlottenburg (Allemagne).

BUGUET (**Abel**). Professeur au Lycée, à l'École des Sciences et à l'École de Médecine, 14, rue des Carmes, à Rouen (Seine-Inférieure).

BUISSON (**Henri**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Marseille (Bouches-du-Rhône).

CADOT (**Albert**), Professeur au Lycée Carnot, 14, rue des Fossés-Saint-Denis, à Boulogne-sur-Seine.

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart. Paris, 16e.

CAILLETET (**L.-P.**), Membre de l'Institut, 75, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

CALMETTE (**Louis**), Professeur au Prytanée militaire, 7, boulevard d'Alger, à la Flèche (Sarthe).

CAMBOULAS, Ingénieur des Arts et Manufactures, à Saint-Geniès-d'Olt (Aveyron).

CAMICHEL (**Ch.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 11, rue Bayard, à Toulouse (Haute-Garonne).

CANCE (**Alexis**), Ingénieur électricien, 5, rue Saint-Vincent-de-Paul. Paris, 10e.

CANET (**Gustave-Adolphe**), Directeur de l'Artillerie de MM. Schneider et Cie, 87, avenue Henri-Martin. Paris, 16e.

CAPELLE (**Édouard**), 82, rue Bonaparte. Paris, 6e.

CARIMEY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 44, boulevard Saint-Michel. Paris, 6e.

CARLIER (**Joseph**), Ingénieur, attaché au Service électrique des Chemins de fer de l'État Belge, 16, rue Destouvelles, à Bruxelles (Belgique).

CARPENTIER (**Jules**), Ingénieur-Constructeur, Membre du Bureau des Longitudes, 34, rue du Luxembourg. Paris, 6e.

CARPENTIER (**Jean**), 34, rue du Luxembourg. Paris, 6e.

CARRÉ (**F.**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 127 *bis*, rue du Ranelagh. Paris, 16e.

CARVALLO (**E.**), Examinateur des élèves à l'École Polytechnique, 1, rue Clovis. Paris, 5e.

CASPARI (**E.**), Ingénieur hydrographe de la Marine, Répétiteur à l'École Polytechnique, 30, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

CASSAN (Dr **Antony**), Médecin électricien, 5, rue des Pénitents, à Nantes (Loire-Inférieure).

CASSIE (**William**), Professor of Physics Brantwood, Englefield Green, Surrey (Angleterre).

MM.

CASTEX (**Edmond**), Professeur à l'École de Médecine de Rennes, 11, rue Kléber, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

CAVIALE (**V.**), Directeur de l'Institution Bertrand, 52, avenue de Saint-Cloud, à Versailles (Seine-et-Oise).

CAZES (**Laurent**), Répétiteur général au Lycée Saint-Louis, 44, boulevard Saint-Michel. Paris, 6e.

CHABAUD (**Victor**), Constructeur d'instruments de précision, 58, rue Monsieur-le-Prince. Paris, 6e.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 8, rue Picot. Paris, 16e.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac, à Sarran par Corrèze (Corrèze).

CHABRIÉ (**Camille**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire d'enseignement pratique de Chimie appliquée, 83, rue Denfert-Rochereau. Paris, 14e.

CHAIR, Professeur au lycée, 9, rue Cassotte, à Besançon (Doubs).

CHAIRY, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh. Paris, 16e.

CHAMPIGNY (**A.**), ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 11, rue de Berne. Paris, 8e.

CHANCEL (**Félix**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

CHAPPUIS (**James**), Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 5, rue des Beaux-Arts. Paris, 6e.

CHAPPUIS (**Pierre**), Sevogelstrasse, 34, à Bâle (Suisse).

CHARDONNET (le comte **de**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue Cambon. Paris, 1er.

CHARLE (**Henri**), Professeur, 19, faubourg de Paris, à Belfort.

CHARPENTIER (Dr **A.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 31, rue Claudot, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

CHARPY (**G.**), Docteur ès sciences, 27, av. de la Gare, Montluçon (Allier).

CHASSAGNY (**Michel**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 29, rue Davioud. Paris, 16e.

CHASSY, Professeur à la Faculté libre des sciences, à Lyon (Rhône).

CHATEAU (**C.**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, 7, rue Talma. Paris, 16e.

CHATELAIN (**Michel de**), Professeur de Physique à l'École supérieure des Mines, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CHAUMAT (**Henri**), Sous-Directeur de l'École supérieure d'Électricité, 26, rue Ernest-Renan. Paris, 15e.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, Chef de traction au Chemin de fer, 3, place Jussieu. Paris, 5e.

CHAUVEAU, Ancien Élève de l'École Normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 32, avenue Rapp. Paris, 7e.

CHAUVIN (**Raphaël**), Ingénieur électricien, 186, rue Championnet. Paris, 18e.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

MM.

CHENEVEAU (**C.**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 229, rue du Faubourg-Saint-Honoré. Paris, 8e.

CHEVALLIER (**Henry**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire d'Électricité industrielle, 8, rue Villedieu, à Bordeaux (Gironde).

CHIPART, Ingénieur des Mines, 5, rue Cornu, à Bordeaux (Gironde).

CHISTONI (**Ciro**), Professeur à l'Université de Modène (Italie).

CHRÉTIEN (**E.**), Professeur au Lycée, 6, rue Jules-Simon, à Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord).

CHUDEAU (**René**), Professeur au Lycée de Constantine (Algérie).

CHUITON (Dr), 2, rue de la Mairie, à Brest (Finistère).

CHWOLSON (**Oreste**), Professeur à l'Université Impériale, Wassili Ostrow, 8 ligne, Maison n° 19, Log. n° 5, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CIRERA (**Rév. P.**), ancien chef du Service Magnétique à l'Observatoire de Manille. Directr-fondatr de l'Observatoire de l'Èbre, à Tortosa (Espagne).

CLAUDE (**Georges**), 62, rue Saint-Lazare. Paris, 9e.

CLAVEAU, Professeur au Lycée de Lyon (Rhône).

CLAVERIE, Censeur du Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin. Paris, 9e.

CLÉMENT (**Louis**), 18, rue Louis-le-Grand. Paris, 2e.

CLUZET, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 45, rue de Metz, à Toulouse (Haute-Garonne).

COGIT, Constructeur d'appareils pour les Sciences, 49, boulevard St-Michel. Paris, 8e.

COGNET (**Alfred**), Profr au Collège, avenue de la Gare, à Bergerac (Dordogne).

COLARDEAU (**P.**), Professeur au Lycée de Lille (Nord).

COLARDEAU (**Emmanuel**), Professeur au Collège Rollin, 13, rue de Navarin. Paris, 9e.

COLLANGETTES (R. P.), Profr à l'Université St-Joseph, à Beyrouth (Syrie).

COLLIGNON (**Benoît**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur de Mathématiques, 74, rue Jean-Jacques-Rousseau, à Dijon (Côte-d'Or).

COLIN (**Th.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue Victor-Considérant. Paris, 14e.

COLLOT (**Armand**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments de précision, 8, boulevard Edgar-Quinet. Paris, 14e.

COLNET D'HUART (**François de**), Docteur ès sciences, Professeur à l'Athénée, avenue Reinsheim, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLOMAN DE SZILY, Akademia utexa, 2, à Budapest (Hongrie).

COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARY, à New-York (États-Unis), chez M. Stechert, 76, rue de Rennes. Paris, 6e.

COMBES (**Charles**), ancien élève de l'École Polytechnique, 29, avenue Rapp. Paris, 7e.

COMBET (**Candide**), Professeur au Lycée de Tunis, quartier Sans-Soucis (Tunisie).

COMMANAY, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann. Paris, 9e.

MM.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 94, rue de la Victoire. Paris, 9e.

COMPAIN (l'Abbé), Professeur de Sciences à l'École Fénelon, à Bar-le-Duc (Meuse).

COPPET (**de**), villa de Coppet, rue Magnan, à Nice (Alpes-Maritimes).

CORVISY (**A.**), Professeur au Lycée, 6, rue Saint-Benoît, à Limoges (Haute-Vienne).

CORVISY (**Didier**), Étudiant en Médecine, 6, rue Saint-Benoît, à Limoges (Haute-Vienne).

COSTA (Dr), Professeur à la Faculté de Médecine, Calle Vittoria, 1094, Buenos-Ayres (République Argentine).

COTTON (**A.**), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 49, rue Saint-André-des-Arts. Paris, 6e.

COUDERT (**A.**), Professeur au Lycée d'Amiens (Somme).

COUDRY (**Eugène**), Professeur au Lycée, 6, rue de l'Héritan, à Mâcon (Saône-et-Loire).

COUETTE (**Maurice**), Docteur ès sciences, Professeur de Physique aux Facultés Catholiques, 26, rue de la Fontaine, à Angers (Maine-et-Loire).

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise (Indre-et-Loire).

COURQUIN (l'abbé), Professeur à l'École industrielle, 70, rue du Casino, à Tourcoing (Nord).

COURTOIS (l'abbé **F.**), Missionnaire, Église St-Joseph, à Chang-Haï (Chine).

CRÉMIEU (**Victor**), Docteur ès sciences physiques, 6, rue d'Ulm. Paris, 5e.

CROIX (**Victor**), Professeur au Collège communal, place de l'Église, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROVA, Correspondant de l'Institut, Directeur de l'Institut de Physique de l'Université de Montpellier (Hérault).

CUÉNOD, Ingénieur électricien, 12, rue Diday, à Genève (Suisse).

CULMANN (**Paul**), Docteur ès sciences, Collaborateur scientifique de la maison Zeiss, 28, rue Vauquelin. Paris, 5e.

CURIE (**Mme SKLODOWSKA**), Docteur ès sciences, Professeur à l'École Normale supérieure d'Enseignement secondaire pour les Jeunes filles, 108, boulevard Kellermann. Paris, 13e.

CURIE (**Pierre**), Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Kellermann. Paris, 13e.

DAGUENET (**P.-C.**), Professeur au Lycée Hoche, 7, rue Mademoiselle, Versailles (Seine-et-Oise).

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas, 44, rue de Fleurus. Paris, 6e.

DAMIEN (**B.-C.**), Doyen de la Faculté des Sciences, 74, rue Brûle-Maison, Lille (Nord).

DARMON, Professeur au Prytanée militaire de La Flèche (Sarthe).

DARZENS, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, avenue Ledru-Rollin. Paris, 12e.

DAUVÉ (**Camille-Albert**), Professeur de Physique au Collège Monge, à Beaune (Côte-d'Or).

MM.

DAUZÉE (**Jean-Camille**), Professeur au Lycée, rue de Rome, à Agen (Lot-et-Garonne).

DEBIERNE, 18, rue des Grands-Augustins, Paris, 6e.

DECHEVRENS (le R. P. **Marc**), S. J., Ancien Directeur de l'observatoire Zi-Ka-Wei (Chine), à Saint-Hélier, observatoire Saint-Louis (île Jersey).

DÉCOMBE (**Louis**), Docteur ès sciences, impasse Reille. Paris, 14e.

DÉCOULX (**Henri**), Professeur de Physique, 2, Place des Marchés, à La Fère (Aisne).

DEDET (**François**), Profr honoraire de Physique, à Albi (Tarn-et-Garonne).

DEFFORGES (le Colonel **G.**), Commandant le 36e régiment d'Infanterie, 12, rue Saint-Gabriel, à Caen (Calvados).

DELATTRE (**Félix**), Ingénieur de la Société anonyme de l'Alma, 34, rue Nain, à Roubaix (Nord).

DELAUNAY (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Institut d'Agriculture à Novo-Alexandria, gouvernement de Lublin (Russie).

DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon (Haute-Savoie).

DELEVEAU. Professeur au Lycée, à Niort (Deux-Sèvres).

DELPEUCH, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur aux Chemins de fer de l'Est, 53, rue de Maubeuge. Paris, 9e.

DELVALEZ (**G.**), Professeur au Lycée Condorcet, 16, avenue Ledru-Rollin. Paris, 12e.

DEMERLIAC (**R.**), Professeur à l'École de Médecine, 3 *bis*, rue aux Juifs, à Caen (Calvados).

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais. Paris, 4e.

DÉPOT CENTRAL DE LA TÉLÉGRAPHIE MILITAIRE, 51, boulevard de La Tour-Maubourg. Paris, 7e.

DEPREZ (**Marcel**), Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 23, avenue Marigny, à Vincennes (Seine).

DERO (**Louis-Émile-Léonce**), Ingénieur civil, 101, rue Tourneville, Le Havre (Seine-Inférieure).

DESCHAMPS (Dr **Eugène**), 22, rue de la Monnaie, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

DESCHAMPS (Dr **G.-G.**), Licencié ès Sciences physiques et ès Sciences naturelles, 11, rue du Sommerard. Paris, 5e,

DESLANDRES (**H.**), Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire d'Astronomie physique de Meudon, 21, rue de Téhéran. Paris, 8e.

DESLIS, Imprimeur, 6, rue Gambetta, à Tours (Indre-et-Loire).

DESROZIERS, Ingénieur civil des Mines, 10, avenue Frochot. Paris, 9e.

DETAILLE (**Charles**), Professeur au Lycée, 81, rue du Couédic, à Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord).

DEVAUD, Professeur au Lycée, 68, rue Sénac, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

DEVAUX, Professeur au Lycée de Brest (Finistère).

DEVAUX (**Henri**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

MM.

DEVAUX-CHARBONNEL, Ingénieur des Télégraphes, 160, boulevard du Montparnasse. Paris, 14e.

DIERMAN (**William**), Ingénieur électricien, Directeur de la Société anonyme des applications de l'Électricité, 15, rue du Bailli, à Bruxelles (Belgique).

DINI (**Urbain**), 95, route de Saint-Leu, à Deuil, par Enghien (Seine-et-Oise).

DININ (**Alfred**), Ingénieur des Arts et Manufactures. 2, quai National, à Puteaux (Seine).

DIOMARD, Professeur au Lycée d'Auch (Gers).

DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet. Paris, 17e.

DITISHEIM (**Paul**), Fabricant de chronomètres, 11, rue de la Paix, à la Chaux-de-Fonds (Suisse).

DOIGNON (**L.**), Ingénieur-Constructeur, successeur de Dumoulin-Froment, 11, rue Hoche, à Malakoff (Seine).

DOMERGUE (**E.**), Résident à Haïphong (Tonkin).

DOMMER, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 12, rue Poisson. Paris, 17e.

DONGIER (**Raphaël**). Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Physique (Enseignement) de la Faculté des Sciences, 87 *bis*, Grande Rue, à Bourg-la-Reine (Seine).

DORGEOT (**Gabriel**), Capitaine commandant l'Artillerie de l'arrondissement de Caen (Calvados).

DOUMER (Dr), Professeur à la Faculté de Médecine de Lille (Nord).

DRAULT, Constructeur Électricien, 57, boulevard du Montparnasse. Paris, 6e.

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 10, place Breda. Paris, 9e.

DREYFUSS (**E.**), Professeur au Lycée de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

DROUIN (**Félix**), Ingénieur, 1 *bis*, avenue de Longchamp, à Boulogne-sur-Seine (Seine).

DUBOIS (Mlle **Hélène**), Répétitrice à l'École Normale de Sèvres (Seine).

DUBOIS (**René**), Profr à l'École Turgot, 23, rue des Fossés-St-Jacques. Paris, 5e.

DUCHEMIN, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg. Paris, 7e.

DUCHESNE-FOURNET, Ancien Élève de l'École Normale supérieure, Klosbach Strasse, 77, à Zurich (Suisse).

DUCLOS, ancien Directeur d'École normale, à Cerisols, par Fabut (Ariège).

DUCOMET, Ingénieur, 7 et 9, rue d'Abbeville. Paris, 10e.

DUCOTTÉ, Ingénieur électricien, 1, rue de la Paix, à Lyon (Rhône).

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

DUDDELL (**W.**), Ingénieur, 47, Hans Place, Londres S. W. (Angleterre).

DUFET, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète. Paris, 5e.

DUFFOUR, Professeur agrégé au Lycée de Bordeaux (Gironde).

DUFOUR (**Henri**), Profr de Physique à l'Université de Lausanne (Suisse).

DUFOUR, Agrégé préparateur de Physique à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

MM.

DUHEM (**P.**), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 18, rue de la Teste, à Bordeaux (Gironde).

DUJARDIN (**P.-J.-R.**), Héliographe, 28, rue Vavin. Paris, 6e.

DUMOULIN-FROMENT, Ancien Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 9e.

DUPLAA (**P.-J.**), Professeur au Collège de Pamiers (Ariège).

DUPONT (**Charles**), Électricien, à Saint-Mihiel (Meuse).

DUPOUY (Dr **Raoul**), Chargé de Cours à la Faculté de Médecine de Bordeaux (Gironde).

DURAND (Dr **Ernest**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 50, rue Monge. Paris, 5e.

DURAND, Professeur au Lycée, rue Esplanade, à Mostaganem (Algérie).

DUSSAUD, Ingénieur Conseil, Docteur ès sciences, 14, rue Dancet, à Genève (Suisse), et 19, rue Guillaume-Tell. Paris, 17e.

DUSSY, Professeur au Lycée, 46, rue Saint-Lazare, à Dijon (Côte-d'Or).

DUTOIT (Dr **Constant**), Docteur ès sciences, Professeur, 3, avenue de Georgette, à Lausanne (Suisse).

DVORAK (Dr **Vincent**), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

DYBOWSKI (**A.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg. Paris, 12e.

EBEL, Ingénieur en chef du Secteur électrique des Champs-Élysées, 2, avenue des Ternes. Paris, 17e.

EDELBERG (**Alexandre**), Ingénieur opticien à Kharkoff (Russie).

EGINITIS (**Basile**), Professeur à l'École des Evelpides, à Athènes (Grèce).

ÉGOROFF (**Nicolas**), Sous-Directeur de la Chambre centrale des Poids et Mesures, 19, Zabalkansky, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ÉGOROFF (**Serge**), Directeur de l'École commerciale de Tomsk (Russie).

EIFFEL (**Gustave**), Ingénieur, 4, rue Rabelais. Paris, 8e.

ÉLIE (**B.**), 90, rue de la Pointe, à Abbeville (Somme).

ENGEL, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 2, rue Rosa-Bonheur. Paris, 15e.

ÉTIENNE (**Louis**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie P.-L.-M., 4, rue Bara. Paris, 6e.

FABRY (**Charles**), Professeur à la Faculté des Sciences, 4, rue Clapier, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

FAILLOT, Professeur au Lycée de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

FAIVRE-DUPAIGRE (**Jules**), Inspecteur d'Académie, 9, rue du Val-de-Grâce, Michel. Paris, 5e.

FARGE (**Émile**), Professeur au Lycée de Cahors (Lot).

FAURE (**Henri**), Ingénieur de la Marine, à Bizerte (Tunisie).

FAVÉ, Ingénieur hydrographe en chef de la Marine, 1, rue de Lille. Paris, 7e.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

MM.

FERRA (**C.-J.**), Directeur de l'Observatoire central de l'Indo-Chine, à Phu-Lien (Tonkin).

FIGUIER (Dr **Alban**), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 17, place des Quinconces, à Bordeaux (Gironde).

FONSECA BENEVIDES (**Francisco da**), Directeur de l'Institut industriel et commercial de Lisbonne (Portugal).

FONTAINE (**Hippolyte**), Ingénieur électricien, 58, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

FONTAINE, Chimiste, 203, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

FORTIN (**Charles**), 59, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

FOUCHÉ (**Ed.**), Ingénieur, 19, avenue de Clichy. Paris, 17e.

FOURNIER (le Dr **Albain**), à Rambervillers (Vosges).

FOUSSEREAU, Docteur ès sciences, 5, place de Jussieu. Paris, 5e.

FOVEAU DE COURMELLES (le Dr), 26, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

FREDET (**Henri**), Industriel à Brignoud (Isère).

FRICKER (**Georges**), Licencié en droit, 36, avenue de Ceinture, à Enghien (Seine-et-Oise).

FROC (le R. P.), à l'observatoire de Zi-Ka-Weï, près Chang-Haï (Chine).

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 19, rue de Sèvres. Paris, 6e.

GAIFFE (**Georges**), Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts. Paris, 6e.

GAILLARD (**Pierre**), Professeur au Lycée de Saint-Étienne (Loire).

GAILLARD (**Léon**), Élève à l'École d'Électricité, 92, r. du Cherche-Midi. Paris, 6e.

GALIMARD, Industriel, à l'abbaye de Flavigny (Côte-d'Or).

GALITZINE (Prince **Boris**), Membre de l'Académie impériale des Sciences, Fontanka, 144, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GALL (**Henri**), Directeur de la Société d'Électrochimie, 5, rue Albert-Joly, à Versailles (Seine-et-Oise).

GALLOTTI, Professeur au Lycée d'Orléans (Loiret).

GALY, Professeur au Lycée de Brest (Finistère).

GARBE, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers (Vienne).

GARDET (**Alfred**), Censeur du Lycée de Besançon (Doubs).

GARIEL (**C.-M.**), Inspecteur général des Ponts-et-Chaussées, Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille. Paris, 17e.

GASCARD (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine et de Pharmacie, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen (Seine-Inférieure).

GAUMONT, Directeur du Comptoir général de Photographie, 57, rue Saint-Roch. Paris, 1er.

GAUTHIER-VILLARS (**Albert**), Imprimeur-Éditeur, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins. Paris, 6e.

GAUTIER (**P.**), Constructeur d'instruments de précision, Membre du Bureau des Longitudes, 56, boulevard Arago. Paris, 13e.

MM.

GAY (**Henri**), Professeur en congé, 14, rue François-Henri, aux Prés-Saint-Gervais (Seine).

GAY (**Jules**), Professeur honoraire au Lycée Louis-le-Grand, Examinateur d'admission à l'École militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette. Paris, 6e.

GAYON, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Duffour-Dubergier, à Bordeaux (Gironde).

GEITLER (Dr **Josef-Ritter von**), Professeur Deutsche Universitat de Prague (Autriche).

GENDRON (**Rodolphe**), Préparateur de Physique à l'Institut catholique, 6, rue Gassendi. Paris, 14e.

GENEST (**Eugène**), Professeur à la Faculté libre des Sciences, 38, rue de Brissac, à Angers (Maine-et-Loire).

GEORGIEWSKI (**Nicolas**), Institut technologique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GERARD (**Eric**), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut électrotechnique de Montefiore, 35, rue Saint-Gilles, à Liége (Belgique).

GERNEZ, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, 80, rue d'Assas. Paris. 6e.

GHEURY (**Maurice-Edouard-Joseph**), Lieutenant au long cours, 84, London Road, Chelmsford, Essex (Angleterre).

GHESQUIER (l'abbé), Professeur à l'Institution Notre-Dame-des-Victoires, 12, rue Notre-Dame-des-Victoires, à Roubaix (Nord).

GIBERT, Profr de Physique à l'École Colbert, 146, boulevard Magenta. Paris, 10e.

GILLES (**A.**), Inspecteur général de l'Instruction publique, 11, rue Michelet. Paris, 6e.

GIRARD (**Charles**), Directeur du Laboratoire municipal, 2, rue de la Cité. Paris, 4e.

GIRARDET, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis, 90, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

GIRARDET (**Fernand**), chargé de Cours à l'École supérieure de Pharmacie, 43, rue du Faubourg-Saint-Jean, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GIRARDIN (l'abbé **Maurice**), Professeur de Physique, 124, rue de la Station, à Mouscron (Belgique).

GIRAULT, Directeur de l'École municipale Lavoisier, 19, rue Denfert-Rochereau. Paris, 5e.

GIROUX (**Lucien**), Ingénieur opticien, successeur de M. Roulot, 19, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

GIVERT (**Arthur**), Professeur au Lycée de Caen (Calvados).

GODART (**Léon**), Docteur ès sciences, Professeur au Lycée Saint-Louis, 28, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

GODEFROY (l'abbé **L.**), Ancien professeur de Chimie à l'Institut catholique.

GODEFROY (**R.-E.**), Professeur à l'École Normale d'Instituteurs de la Seine, 10, rue Molitor. Paris, 16e.

GODRON (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 73, rue Crevier, à Rouen (Seine-Inférieure).

MM.

GODY (**G.**), Architecte du département des Travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOISOT (**Georges**), Ingénieur de la Société anonyme des anciens Établissements Parvillée frères et Cie, 10, rue Bélidor. Paris, 17e.

GOLAZ (**L.**). Constructeur d'instruments à l'usage des Sciences, 25 *bis*, avenue de Montsouris. Paris, 14e.

GOLDHAMMER (**Démétrius**), Professeur de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLDSCHMIDT (**Robert**), Docteur ès sciences chimiques, 54, avenue des Arts, à Bruxelles (Belgique).

GOLOUBITZKI (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GONZALEZ (**Quijano**), Dr en Médecine, à Port-Saint-Père (Loire-Inférieure).

GORSSE, Professeur au Collège Rollin, 19, rue Nollet. Paris, 17e.

GOSSARD (**Fernand**), Docteur en droit, 66, rue des Petits-Champs. Paris, 2e.

GOSSART (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 68, rue Eugène-Ténot, à Bordeaux (Gironde).

GOURÉ DE VILLEMONTÉE (**Gustave**), Docteur ès sciences, professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy. Paris, 5e.

GOUY (**G.**), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon (Rhône).

GRAETZ (**Léo de**), Dr Phil., Professeur à l'Université, Arcisstrasse, 8, à Munich (Bavière).

GRAMONT (**Arnaud de**), Dr ès sciences physiques, 81, rue de Lille. Paris, 7e.

GRAU (**Félix**), Professeur au Lycée de Reims.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-Percha and Telegraph Works Co, Silvertown, Essex, à Londres (Angleterre).

GREFFE (**E.**), Professeur au Lycée Henri IV, à Paris, 5e.

GRÉHANT (Dr), Professeur de Physiologie générale au Muséum, 90, cours de Vincennes. Paris, 12e.

GRIMALDI (**Giovan Petro**), Docteur ès sciences physiques, Directeur du Laboratoire et Professeur de Physique à l'Université Royale, 25, Via Androne, Catania, Sicile (Italie).

GRIPON, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 12, rue du Mont-Thabor, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

GRIVAUX, Profr au Lycée, 2, rue Victor-Hugo, à Villeurbane (Rhône).

GRIVOLAS (**Claude**), Ingénieur civil, Administrateur délégué de la Compagnie française d'Appareillage électrique, 16, rue Montgolfier. Paris, 3e.

GROGNOT (**L.**), Ingénieur chimiste, 18, rue Labat. Paris, 18e.

GROOT (le P. **L.-Th. de**), Kerkstraat, 14, Oudenbosch (Hollande).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 67, avenue Malakoff. Paris, 16e.

GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

GUEBHARD (Dr **Adrien**), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes),

MM.

GUERBY (**A.**), Professeur en retraite, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUERBY, Professeur au Lycée, 18, rue Sommeilière, à Annecy (Haute-Savoie).

GUÉRIN (**Georges**), Docteur en Médecine, Licencié ès sciences, 70, avenue Kléber. Paris, 16e.

GUÉROULT (**Georges**), Ancien Inspecteur des finances, Trésorier-Payeur général honoraire, 7, square Alboni. Paris, 16e.

GUERRE, Constructeur électricien, 53, rue de Villiers, à Neuilly-sur-Seine (Seine).

GUILLAUME (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

GUILLEMIN (l'abbé), Professeur de Sciences mathématiques et physiques à l'Externat de la rue de Madrid, 43, rue du Rocher. Paris, 8e.

GUILLEMINOT, Docteur en Médecine, 13, chaussée de la Muette. Paris, 16e.

GUILLET, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 158, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

GUILLIN (**Louis**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Besançon (Doubs).

GUILLOZ (Dr **Th.**), Agrégé, Chef des travaux du Laboratoire de Physique médicale à la Faculté de Médecine, 24, place de la Carrière, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUINARD (**A.**), Armurier, 8, avenue de l'Opéra. Paris, 1er.

GUINCHANT (**J.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 166, rue Saint-Jean, à Caen (Calvados).

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue Hermite, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUTTON (**Camille**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 14, rue du Grand-Verger, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

GUYE (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, Professeur de Physique à l'Université, 41, route de Chêne, à Genève (Suisse).

GUYE (**Philippe-A.**), Docteur ès sciences, Professeur de Chimie à l'Université, 3, Chemin des Cottages, à Genève (Suisse).

HAGENBACH-BISCHOFF, Professeur à l'Université, 20, Missionsstrasse, à Bâle (Suisse).

HAGENBACH (**Auguste**), Docteur Professeur à l'Université, Gerlachstrasse, à Aix-la-Chapelle (Allemagne).

HALE (**George-E.**), Directeur de l'Observatoire solaire, Mount Wilson, California (États-Unis).

HALLER (**A.**), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 86, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

HAMY (**Maurice**), Astronome titulaire à l'Observatoire, 16, rue de Bagneux. Paris, 6e.

HANRIOT (**Th.**), Ancien recteur des Ardennes, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, 6, rue Pichon, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MM.

HARET, Docteur en Médecine, 8, rue Pierre-Haret. Paris, 9e.

HARKER (Dr **John-Allen**), The National Physical Laboratory, Teddington Middlesex (Angleterre).

HAUDIÉ (**Edgard**), Professeur à l'École navale, 88 *bis*, rue de Paris, à Brest (Finistère).

HEEN (**Pierre de**), Membre de l'Académie Royale, Directeur de l'Institut de Physique, 9, rue Momilphe, à Liége (Belgique).

HEGER (**Paul**), Professeur de Physiologie, Institut Solvay (Parc Léopold), Bruxelles (Belgique).

HELLER (**Richard-Ch.**), Ingénieur, 18, cité Trévise. Paris, 9e.

HEMARDINQUER (**Ch.**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 7, rue de la Cerisaie. Paris, 4e.

HEMPTINNE (**Alexandre de**), 56, rue de la Vallée, à Gand (Belgique).

HEMSALECH (**G.-A.**), Fellow of Owens College, à Manchester (Angleterre).

HENRY (**Aimé**), Professeur au Lycée, 23, rue Marlot, à Reims (Marne).

HENRY (**Édouard**), Professeur de physique au Lycée, 28, rue Capitaine-Lefort, à Lorient (Morbihan).

HENRY (**Louis d'**), Ingénieur chimiste et électricien, 6, boulevard de Port-Royal. Paris, 13e.

HENRI (**Victor**), Préparateur de Physiologie à la Faculté des Sciences, 13, rue du Val-de-Grâce. Paris, 5e.

HEPITES (**Stefan**), Directeur de l'Institut météorologique à Bucarest (Roumanie).

HERMANN (**A.**), Libraire-Éditeur, 8, rue de la Sorbonne. Paris, 5e.

HERSCHOUN (**Alexandre**), Professeur à l'École d'Artillerie des Officiers de Marine, à Cronstadt (Russie).

HERSE (**Charles-Alexandre**), Professeur au Collège, 12, rue du Beffroi. à Soissons (Aisne).

HERZOG (**Paul**), 15, avenue du Trocadéro. Paris, 16e.

HESEHUS (**N.**), Professeur à l'Institut technologique de l'Empereur Nicolas I, à Saint-Pétersbourg (Russie).

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Vicq-d'Azir. Paris, 10e.

HOMEN (**Théodore**), Professeur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

HOSPITALIER, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 87, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

HOSTEIN, Proviseur du Lycée, 37, rue Isabey, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

HOULLEVIGUE, Professeur à la Faculté des Sciences de Marseille (Bouches-du-Rhône).

HOWE (**Henry M.**), Professeur de Métallurgie à Columbia University, Columbia University, 27, West 73rd Street, New-York City (États-Unis)

HUDELO. Répétiteur à l'École centrale, 10, rue Saint-Louis-en-l'Ile. Paris, 4e.

HUET (**Ernest**), Docteur en Médecine, 21, rue Jacob. Paris, 6e.

HURIEZ (**Louis-Stéphane**), Professeur au Lycée de Lille (Nord).

MM.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de Brosses, à Dijon (Côte-d'Or).

HURMUZESCU (**Dragomir**), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté des Sciences de Jassy (Roumanie).

HUSSON (**Léon**), Directeur de l'*Eastern Extension Telegraph C°*, à Foochow (Chine).

HUTIN (**Maurice**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 10, avenue Trudaine. Paris, 9e.

ICOLE (**Léon**), Professeur au Lycée de Tours (Indre-et-Loire).

IMBAULT (**G.**), Censeur du Lycée de Nantes (Loire-Inférieure).

IMBERT (**Armand**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier (Hérault).

INFREVILLE (**Georges d'**), Ex-Électricien de la *Western Union Telegraph C°*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty street, à New-York (États-Unis).

INFROIT (**Charles**), Directeur du service de la radiographie de la Salpêtrière, 8, rue des Saints-Pères. Paris, 6e.

IVANOFF (**Constantin**), Assistant de Physique à l'Université d'Odessa (Russie).

IZARN (**Joseph**), Professeur au Lycée Pascal, 34, rue Bansac, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

JACOBS (**Fernand**), Président de la Société belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

JAMBART (**J.**), Profr au Lycée, 40, avenue St-Roch, à Valenciennes (Nord).

JANET (**Paul**), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 8, rue du Four. Paris, 6e.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon (Seine-et-Oise).

JARRE (**L.-M.**), Ingénieur électricien, anciennement attaché à la Maison Sautter, Harlé et Cie, 9, rue Louis-le-Grand. Paris, 2e.

JAUBERT (**Georges**), Docteur ès sciences, 155, boulevard Malesherbes. Paris, 17e.

JAUMANN (Dr **Gustav**), Professeur de Physique à l'École Polytechnique, à Brünn (Autriche).

JAVAL (Dr **Émile**), Membre de l'Académie de Médecine, 5, boulevard La Tour-Maubourg. Paris, 7e.

JAVAL (**Jean**), Membre du Conseil général de l'Yonne, 45, rue de Boulainvilliers. Paris, 16e.

JAVAUX (**Émile**), Administrateur-Directeur de la Société Gramme, 130, boulevard Pereire. Paris. 17e.

JÉNOT, Profr honoraire au Collège Rollin, 11, rue Caulaincourt, Paris, 18e.

JOANNIS (l'abbé **Joseph de**), Licencié ès sciences physiques et mathématiques, 7, rue Coëtlogon. Paris, 6e.

MM.

JOB, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse (Haute-Garonne).

JOBIN (**A.**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, successeur de M. Léon Laurent, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

JOLY (**Louis**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, rue Delambre, Paris, 14e.

JOSEPH (**Paul**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, à l'île d'Yeu (Vendée).

JOUBERT, Inspr général de l'Instruction publique, 67, rue Violet. Paris, 15e.

JOUBIN, Doyen de la Faculté des Sciences de Grenoble (Isère).

JOYEUX (**Eugène**), 10, avenue de Bellevue, à Sèvres (Seine-et-Oise).

JUDIC, Ingénieur électricien, 82, boulevard de Clichy. Paris, 9e.

JUNGFLEISCH (**E.**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 74, rue du Cherche-Midi. Paris, 6e.

JUSTO Y SANCHEZ-BLANCO (**Manuel de**), Ingénieur, Docteur ès sciences, Professeur à l'École supérieure des Arts et Métiers, Prado 27-2, à Madrid (Espagne).

KAHLBAUM (**Georg. A.-W.**), Dr ph., Professeur à l'Université, Steinenvorstadt 4, à Bâle (Suisse).

KAPOUSTINE (**Théodore**), Professeur de Physique à l'Université de Tomsk (Sibérie).

KARPEN (**Vasilesco**), Ingénieur, Docteur ès Sciences, 11, rue Jules-Michelet, à Bucarest (Roumanie).

KELVIN (**Lord**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow, Netherhall, Largs, Ayrshire (Ecosse), 15, Eaton Place, Londres, S. W. (Angleterre).

KNOLL, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen (Seine-Inférieure).

KORDA (**Désiré**), Administrateur de la Société française d'électricité A. E. G., 15, rue Ambroise-Thomas. Paris, 9e.

KOROLKOFF (**Alexis**), Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

KOUSTOVSKY (**Mitrophan**), Professeur au gymnase russe, Russie Mariopol, mer d'Azow.

KOWALSKI (**E.**), Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 18, rue d'Alzon, à Bordeaux (Gironde).

KOWALSKI (**Joseph de**), Professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).

KROUCHKOLL, Docteur ès sciences et Docteur en Médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 150, avenue Wagram. Paris, 17e.

LACOUR (**Alfred**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère. Paris, 17e.

MM.

LACROIX (**Paul**), Directeur de la Compagnie Universelle d'Acétylène, 36, rue de Châteaudun. Paris, 9e.

LAFAY (**A.**), Capitaine, Professeur à l'École Polytechnique, 98, rue d'Arcueil, à Malakoff (Seine).

LAFFARGUE (**Joseph**), Licencié ès sciences physiques, Ingénieur électricien, 180. rue Lafayette. Paris, 10e.

LAFLAMME (Mgr), Membre de la Société géologique de France, Recteur de à l'Université Laval, Québec (Canada).

LAGRANGE (**Eugène**), Professeur de Physique à l'École Militaire, 60, Champs-Élysées, à Bruxelles (Belgique).

LALA (**Ulysse**), Docteur ès sciences, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, Professeur de Mécanique et de Physique à l'École des Beaux-Arts et des Sciences Industrielles, 16, boulevard de Strasbourg, à Toulouse (Haute-Garonne).

LAMBERT (**Pierre**), Ingénieur, 5, rue de la Tour-des-Dames. Paris, 9e.

LAMIRAND, Professeur au Lycée Saint-Louis, 4, rue Froidevaux. Paris, 14e.

LAMOTTE (**Marcel**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, 7, rue de Beaulieu, Chamalières (Puy-de-Dôme).

LAMPA (**A.**), Professeur à l'Université, Wien XVIII, Rieglergasse, 5, à Vienne (Autriche).

LANCE (Mlle), Préparatrice au Lycée Fénelon, 45, rue Saint-André-des-Arts. Paris, 6e.

LANCELOT (**J.**), Constructeur d'instruments d'acoustique, 70, avenue du Maine. Paris, 14e.

LANDRIN, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 127, boulevard Malesherbes. Paris. 17e.

LANG (**Victor von**), Professeur à l'Université de Vienne (Autriche).

LANGEVIN, Professeur adjoint au Collège de France, 29, rue Gazan. Paris, 14e.

LANIÈS, Professeur au Lycée de Toulouse (Haute-Garonne).

LAPORTE, Ingénieur civil des Mines, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Chef des Travaux au Laboratoire central d'Électricité, 2, rue Saint-Simon. Paris, 7e.

LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Nicolas-Charlet. Paris, 15e.

LAROCHE (**Félix**), Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite, 110, avenue Wagram. Paris, 17e.

LAROUSSE (**Auguste**), Professeur au Lycée, 31, rue du Bastion, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

LATOUR, Professeur honoraire, 9, rue Daillière, à Angers (Maine-et-Loire).

LAURENT (**Léon**), Ancien Constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de Paris, 14e.

LAURIOL (**Pierre**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 278, boulevard Raspail. Paris, 6e.

LAVIÉVILLE (**Augustin**), Inspecteur honoraire de l'Académie de Paris, 3, rue Legoff. Paris, 5e.

MM.

LAWTON (**George-Fleetwood**), Ingénieur-Directeur de l'*Eastern Telegraph C°*, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

LEBEDEW (**Jean**), Adjoint à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE BEL (**J.-A.**), Ancien Président de la Société chimique, 250, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

LEBEUF (**Auguste-Victor**), Dr de l'Observatoire National de Besançon (Doubs).

LEBLANC (**Maurice**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 1, avenue de Bouflers, villa Montmorency. Paris, 16e.

LE BON (Dr **G.**), 29, rue Vignon. Paris, 8e.

LECAT, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 7, rue Gustave-Courbet. Paris, 16e.

LE CHATELIER (**André**), Ingénieur en chef de la Marine, 331, rue Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

LE CHATELIER (**Henry**), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

LE CHATELIER (**Louis**), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, 7, rue du Regard. Paris, 6e.

LE CHATELIER (**Charles**), 73, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

LECHER (Dr **Ernst**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LECOIN, Professeur au Lycée de Pontivy (Morbihan).

LEDUC (**A.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 84, boulevard Saint-Michel. Paris, 6e.

LEDUC (Dr **Stéphane**), Professeur à l'École de Médecine, 5, quai de la Fosse, à Nantes (Loire-Inférieure).

LEFEBVRE (**Eugène**), Professeur honoraire, 2, rue des Réservoirs, à Versailles et à Menotey (Jura).

LEFEBVRE (**Pierre**), Professeur au Lycée, 67, boulevard Faidherbe, à Douai (Nord).

LEFÈVRE (**Julien**), Professeur au Lycée, 20, avenue de Gigant, à Nantes (Loire-Inférieure).

LEFÈVRE (**Z.-H.-D.**), Préparateur de Physique au Lycée, 10, rue Frédéric-Petit, à Amiens (Somme).

LEJEUNE (Dr **Louis**), Médecin électricien, 1, rue des Urbanites, à Liége (Belgique).

LEMERAY (**Maurice**), Licencié ès sciences mathématiques et physiques, Ingénieur civil, 51, boulevard de l'Océan, à Saint-Nazaire (Loire-Inférieure).

LEMOINE (**Émile**), Chef honoraire du Service de la vérification du gaz, 4, boulevard de Vaugirard, à Paris, 14e.

LEMOINE (**Constant**), Professeur au Lycée de Brest (Finistère).

LEMOINE (**Georges**), Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École Polytechnique, 76, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

LEMOINE (**Jules**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 72, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

MM.

LENOIR (**Léon**), Professeur de Physique au Lycée, 10, rue de l'Ecusson, à Alençon (Orne).

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 3, rue Martin, à Lyon (Rhône).

LEQUEUX (**P.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

LERAY (l'abbé), 14, rue de l'Archevêché, à Conflans-Charenton (Seine).

LERMANTOFF, Profr de Physique de l'Université de St-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse. Paris, 14e.

LEROY (**J.**), Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail. Paris, 14e.

LESAGE (**Auguste**), Professeur au Lycée de Châteauroux (Indre).

LESOBRE. Professeur au Collège, 13, rue Crévoulin, à Melun (Seine-et-Marne).

LÉTANG (Dr **Marc**), 12, rue Desrenaudes. Paris, 17e.

LETELLIER (**Albert-Eustache**), Professeur au Lycée, 53, rue James Cane, à Tours (Indre-et-Loire).

LEUILLIEUX (Dr), Médecin de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, à Coulie (Sarthe).

LÉVESQUE (Lieutenant), Section de Géodésie du Service Géographique de l'Armée, 140, rue de Grenelle. Paris, 7e.

LÉVY (**Armand**), Professeur de Physique, 9, rue du Lycée, à Besançon (Doubs).

LEVY (**Michel**) Membre de l'Institut, 26, rue Spontini. Paris, 16e.

LEYMARIE, Professeur au Lycée d'Évreux (Eure).

LHUILLIER, Professeur au Lycée, 15, passage Saint-Yves, à Nantes (Loire-Inférieure).

LIBRARY OF UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA, à Philadelphie (États-Unis). Chez M. Stechert, 76, rue de Rennes. Paris, 6e.

LIMB (**Claudius**), Docteur ès sciences, Ingénieur-Conseil de la Maison Gindre Frères et Cie de Lyon, 18, quai de Retz, à Lyon (Rhône).

LIPPICH (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon. Paris, 6e.

LOCHERER. Ingénieur des Ponts et Chaussées, 45, rue Ampère. Paris, 17e.

LŒWY (**Maurice**), Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire national de Paris.

LOISELEUR, Chargé de cours de Sciences au Lycée, 11, rue Desfourniel, à Bordeaux (Gironde).

LORION, Professeur au Lycée de Nevers (Nièvre).

LOUGUININE (**W.**), Docteur honoraire, Professeur de Thermochimie à l'Université de Moscou, 77, avenue de Malakoff. Paris, 16e.

LUBOSLAWSKI (**Gennady**), Préparateur à l'Institut forestier de Saint-Pétersbourg (Russie).

LUCAS (Le R. P. **J.-D.**), S. I., Professeur à la Faculté des Sciences, Collège Notre-Dame-de-la-Paix, à Namur (Belgique).

MM.

LUGOL (**Paul**), Professeur au Lycée Condorcet, 56, rue Nollet. Paris, 18e.

LUMIÈRE (**Auguste**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon) (Rhône).

LUMIÈRE (**Louis**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon) (Rhône).

LUSSANA (**Silvio**), Docteur ès sciences, Directeur de l'Institut physique de l'Université de Sienne (Italie).

LYON (**Gustave**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, Industriel, 22, rue Rochechouart. Paris, 9e.

MACH (Dr **ERNST**), Professeur de Physique à l'Université, XVIII, Hofstattgasse, 3, Vienne (Autriche).

MACK (**Ed.**), Ingénieur, 54, rue de Lausanne, à Genève (Suisse).

MACQUET (**Auguste**), Ingénieur au corps des Mines, Directeur de l'École provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, 22, boulevard Dolez, à Mons (Belgique).

MADAMET, Directeur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

MAIGRET (Dr), 86, avenue de la République, à Montrouge (Seine).

MAISONOBE, Capitaine d'Artillerie, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).

MAJORANA (**Quirino**), Istituto fisico della Universita, à Rome (Italie).

MALCLÈS, Préparateur à la Faculté des Sciences, 34, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

MALDINEY (**J.**), Président de la Société de Photographie du Doubs, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences de Besançon (Doubs).

MALLAT (R. P. **Jean**), Professeur au Collège du Sacré-Cœur, Schembaganur, Présidence de Madras (Indes anglaises).

MALOSSE, Professeur à l'École de Médecine d'Alger (Algérie).

MALTÉZOS, Docteur ès sciences, 129, rue Solon, à Athènes (Grèce).

MAMY (**J.**), Professeur au Lycée, 15, rue Thibaudeau, à Poitiers (Vienne).

MANEUVRIER, Directeur adjoint du Laboratoire des Recherches physiques, à la Sorbonne. Paris, 5e.

MANVILLE (**Octave**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

MANY, Professeur de Physique à l'École des Ponts et Chaussées, à Bucarest (Roumanie).

MARAGE (**Dr**), Docteur ès sciences, 14, rue Duphot. Paris, 1er.

MARCHIS, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 106, rue Mazarin, à Bordeaux (Gironde).

MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne, 120, rue Saint-Antoine. Paris, 4e.

MARIE (Dr **Th.**), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 11, rue de Rémusat, à Toulouse (Haute-Garonne).

MARSAL (**P.**), Professeur au Lycée, 27, rue Sigisbert-Adam, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MM.

MARTIN (**Georges**), Ingénieur de la Station d'Éclairage électrique, 67, rue Rousseau, à Bar-le-Duc (Meuse).

MARTINET (**E.**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 5, rue de l'Amiral-Courbet. Paris, 16e.

MARTINET, Professeur au Prytanée militaire, 5, Grande-Rue, à la Flèche (Sarthe).

MARTINEZ (R. P. **E.**), Professeur de Physique au Colegio San Jose, Valladolid (Espagne).

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau Central météorologique, 176, rue de l'Université. Paris, 7e.

MASCART (**Auguste**), Professeur au Collège, 73, rue Landrecies, Le Cateau (Nord).

MASSE (**Maurice**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, place de l'Église-du-Vœu, à Nice (Alpes-Maritimes).

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

MASSON (**Louis**), 33, rue de Vincennes, à Montreuil-sous-Bois (Seine).

MASSOULIER, Professeur au Lycée Henri IV, 97, villa Brune. Paris, 14e.

MATHIAS (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 22, place Dupuy, à Toulouse (Haute-Garonne).

MATHIEU (**Joseph-Louis**). Professeur au Lycée d'Évreux (Eure).

MATHIEU (**Louis**), Directeur de la Station œnologique de Bourgogne, à Beaune (Côte-d'Or).

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, à Lorient (Morbihan).

MAURAIN (**Charles**), Professeur à la Faculté des Sciences de Caen (Calvados).

MAYER (Dr **André**), 33, rue du Faubourg-Poissonnière. Paris, 9e.

MAZEN (**Natalis**), Ingénieur du Service électrique des Chemins de fer de l'Ouest, 35, rue Magenta, à Asnières (Seine).

MECHLING (**Gustave**), Constructeur d'Instruments de précision en verre, 7, rue des Grands-Degrés. Paris, 5e.

MELANDER, Préparateur à l'Université Skepparebrianten à Helsingfors (Finlande).

MENDELSSOHN (**Maurice**), Docteur en Médecine, Membre correspondant de l'Académie de Médecine, 49, rue de Courcelles. Paris, 8e.

MENIER (**Henri**), Ingénieur, 8, rue Alfred-de-Vigny. Paris, 8e.

MENSBRUGGHE (**Gustave-Léonard Van der**), Membre de l'Académie Royale, Professeur de Physique mathématique à l'Université, Coupure, 131, à Gand (Belgique).

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes. Paris, 5e.

MERCANTON (**Paul-Louis**), Ingénieur électricien, 2, square de Georgette, à Lausanne (Suisse).

MERCIER (**R.**), Ingénieur-Électricien, Élève diplômé de l'École supérieure d'Électricité, 20, rue Cujas. Paris, 5e.

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée, 78, faubourg Vincent, à Châlons-sur-Marne (Marne).

MM.

MESLANS (**Maurice**), 59, quai de la Baronnie, à Ablon (Seine-et-Oise).

MESLIN (**Georges**), Professeur à la Faculté des Sciences, villa Marie, ancien chemin de Castelnau, Montpellier (Hérault).

MESNAGER (**Augustin**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur des Canaux de la Ville de Paris, 182, rue de Rivoli. Paris, 1er.

MESTRE, Ingénieur à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette. Paris, 10e.

MÉTRAL (**Pierre**), Agrégé des Sciences physiques, Professeur à l'École Colbert, 239 *bis*, rue Lafayette. Paris, 10e.

METZ (**de**), Prof^r à l'Université St-Wladimir, 3, r. du Théâtre, à Kiew (Russie).

MEYER, Directeur de la Compagnie continentale Edison, 38, rue Saint-Georges. Paris, 9e.

MEYER (**Dr Stefan**), Privat docent à l'Université, Turkenstrasse, 3, à Vienne (Autriche).

MEYLAN (**Eugène**), Ingénieur, 23, boulevard du Montparnasse. Paris, 6e.

MEYNIER, Professeur au Lycée de Rouen (Seine-Inférieure).

MICHAUT (**Victor**), Chargé de cours à l'Ecole de Médecine, 1, rue des Novices, à Dijon (Côte-d'Or).

MICHEL (**Auguste**), Constructeur d'instruments de Physique, 37, boulevard Bourdon. Paris, 4e.

MICHELSON (**Albert**), Professeur à l'Université de Chicago (États-Unis).

MICKS (**Richard**), Professeur au Gymnase communal, à Trieste (Autriche).

MICULESCU (**Constantin**), Professeur à l'Université, 3, Strada Spatarului à Bucarest (Roumanie).

MILLARD (**John-A.**), Docteur en Médecine, au château Sunnyside, à Dinard-Saint-Énogat (Ille-et-Vilaine).

MILLIS (**John**) Major, Corps of Engineers, United States army, U.-S. Engineers office, Seattle, State of Washington (U. S. A.).

MISERY (**Charles-Gustave**), Ingénieur civil, 15, rue de la Fontaine-du-Gué, à Deuil (Seine-et-Oise).

MITJAVILA (**Jaime**), Medico Mayor de Sanidad Militar, Urosas, 8, Madrid (Espagne).

MITKEWITCH (**Wladimir**), Assistant de Physique à l'Institut des Mines à Saint-Pétersbourg (Russie).

MIX (**Edgar-W.**), Ingénieur électricien, 12, boulevard des Invalides. Paris, 7e.

MOISSAN, Membre de l'Institut, 7, rue Vauquelin. Paris, 5e.

MOLTENI (**A.**), Ingénieur, 15, rue Origet, à Tours (Indre-et-Loire).

MONNIER (**D.**), Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 3, impasse Cothenet, et 22, rue de la Faisanderie. Paris, 16e.

MONNORY (**Henri**), ex-Professeur au Lycée Hoche, Directeur des études à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures, 20, rue du Cloître-Notre-Dame. Paris, 4e.

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon (Rhône).

MONTEFIORE (**Levi**), Ingénieur, Sénateur du Royaume de Belgique, Fondateur de l'Institut électrotechnique, 35, rue de la Science, à Bruxelles (Belgique).

MM.

MONTEIL (**Silvain**), Juge de Paix à Grand-Bourg (Creuse).

MONTHIERS (**Maurice**), 50, rue Ampère. Paris, 17e.

MORE (**Louis Tranchard**), Ph. D., Professeur de Physique à l'Université de Cincinnati, Cincinnati (Ohio) (U. S. A.).

MOREAU (**Georges**), Professeur à la Faculté des Sciences, 68, rue Saint-Hélier, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

MOREUX (l'abbé **Th.**), Professeur de Physique à l'École Saint-Célestin, à Bourges (Cher).

MORIN (**F.**), Dr en Médecine, place Lamoricière, à Nantes (Loire-Inférieure).

MORIN (**Pierre**), Professeur au Lycée, 40, rue Barathon, à Montluçon (Allier).

MORIZE (**Henri**), Ingénieur civil, Docteur ès sciences, Astronome à l'Observatoire, Professeur de Physique à l'École Polytechnique, Rua Princeza Imperial, n° 20. Antigo, a Rio-de-Janeiro (Brésil).

MORIZOT, Chargé du Cours, au Lycée de Chaumont (Haute-Marne).

MOSER (Dr **James**), Privat docent à l'Université, 25, Laudon-Gasse, Vienne VIII/1 (Autriche).

MOUCHEL (**Charles**), Professeur de Sciences, 18, rue des Trois-Cornets, à Elbeuf (Seine-Inférieure).

MOULIN (**Honoré**), Capitaine à la Commission d'expériences de Calais, quai de l'Escaut, à Calais (Pas-de-Calais).

MOUREAUX (**Th.**), Météorologiste, Chef du Service magnétique à l'Observatoire du Parc Saint-Maur (Seine).

MOUSSELIUS (**Maximilien**), r. Boulwarnaia, maison Sokolowski, à Tsarskoë Selo (Russie).

MUHLL (**K. von der**), Professeur ordinaire de Physique mathématique à l'Université de Bâle (Suisse).

MUIRHEAD (**Alexandre**), F. C. S., Sherborne Lodge, Sportlands Kent (Angleterre).

MULLER (**P.-Th.**), Professeur à l'Université, 31, rue Victor-Hugo. Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MURAT (**I. St.**), Sous-Directeur de l'Institut météorologique et du Service central des Poids et Mesures de Roumanie, à Bucarest (Roumanie).

MYCHKINE, Professeur de Physique à l'Institut agronomique de Novo Alexandria (Russie).

NACHET (**A.**), Constructeur d'instruments d'Optique, 17, rue Saint-Séverin. Paris, 5e.

NACHET (**Camille**), Constructeur d'instruments d'Optique, 7, rue des Gravilliers. Paris, 3e.

NAGAOKA (**H.**), Docteur ès Sciences, Professeur de Physique à l'Université de Tokio (Japon).

NAMBA MASSASHI, Professeur à l'Université de Kioto (Japon).

NÉCULCEA (**Eugène**), 13, rue Lacépède. Paris, 5e.

NEGREANO (**D.**), Professeur à l'Université, 13, boulevard Ferdinand, à Bucarest (Roumanie).

MM.

NERVILLE (**de**), Ingénieur des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu. Paris, 8e.

NEVEU (**Raoul**), Constructeur d'instruments de Physique, 35, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève. Paris, 5e.

NICOLAIEVE (**Wladimir de**), Colonel d'Artillerie, professeur à l'École militaire Paul, à Saint-Pétersbourg (Russie).

NODON (**Albert**), Ingénieur-conseil, 12, rue de Moulis, à Bordeaux (Gironde).

NOÉ (**Charles**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet. Paris, 5e.

NOGUÉ (**Émile**), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas. Paris, 6e.

NORDMANN (**Ch.**), Docteur ès Sciences, Attaché à l'Observatoire de Paris, 18, rue des Feuillantines. Paris, 5e.

NUGUES (**Émile**), Chef des travaux électriques à l'École Centrale des Arts et Manufactures, 31, rue Saint-Placide. Paris, 6e.

OFFRET (**Albert**), Professeur de Minéralogie à l'Université, Villa Sans-Souci, 53, Chemin des Pins, à Lyon (Rhône).

OGIER (**Jules**), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse. Paris, 7e.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès Sciences, Directeur de la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 22, rue du Général-Foy. Paris, 8e.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 5, rue Littré. Paris, 6e.

ONDE, Professeur au Lycée Henri-IV, 41, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

OSMOND (**Floris**), Ingénieur civil, 83, boulevard de Courcelles. Paris, 8e.

OUDIN (Dr), 12, rue de Belzunce. Paris, 16e.

OUMOFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

OZENNE (**L.-P.**), Aide au Bureau international des Poids et Mesures, 42, boulevard Magenta. Paris, 10e.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 53, boulevard Montebello, à Lille (Nord).

PALAZ (**Adrien**), Docteur ès Sciences, Professeur d'Électricité industrielle à l'Université, 54, avenue de Rumine, à Lausanne (Suisse).

PALMADE, Professeur au Lycée de Montpellier (Hérault).

PALMADE (**F.**), Chef de bataillon au Génie, Chef du Génie à Bourges (Cher).

PAQUIER (**Marc**), Constructeur mécanicien, 5, boulevard Sébastopol. Paris, 1er.

PATENT OFFICE LIBRARY, à Londres, 25, Southampton Buildings, W. C. (Angleterre).

PATTE (**Lucien**), Professeur au Lycée, 12, rue Louis-Joblot, à Bar-le-Duc (Meuse).

PAVLIDÈS (**Démosthènes**), Docteur en Médecine.

MM.

PAULSEN (**Adam-Frédéric-Vivet**), Directeur de l'Institut météorologique de Danemark, à Copenhague (Danemark).

PAYN (**John**), Directeur de l'*Eastern Telegraph Co*, au Caire (Egypte).

PAYRARD (**Henri**), Censeur du Lycée de Nantes (Loire-Inférieure).

PÉLABON (**H.**). Chargé de Conférences de Chimie à la Faculté des Sciences de Lille (Nord).

PELISSIER (**Eugène**), Maître de Conférences à l'Institut national agronomique, Professeur à l'École coloniale, 88 *bis*, boulevard Latour-Maubourg. Paris, 7e.

PELLAT (**H.**). Professeur à la Faculté des Sciences, 23, avenue de l'Observatoire. Paris, 6e.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments d'Optique et de précision, successeur de Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon. Paris, 6e.

PERNIN (**René**), 60, rue des Tournelles. Paris, 3e.

PEROT (**Alfred**), Directeur du Laboratoire d'Essais au Conservatoire National des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin. Paris, 3e.

PÉROUX (**E.**), Capitaine d'Infanterie de Marine en retraite, 11, rue des Canus, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).

PERREAU, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon, Bregille Besançon (Doubs).

PERRIER, Capitaine d'Artillerie, État-major de l'Armée, service géographique, 105, rue de Grenelle. Paris, 7e.

PERRIN (**Jean**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris, 18, boulevard Arago. Paris, 13e.

PESSEMESSE, Professeur au Lycée, 14, rue Lezerac, à Châteauroux (Indre).

PETIT (**G.-E.**), Ingénieur des Télégraphes, Contrôle des Installations électriques, 17, rue Gustave-Nadaud, à Limoges (Haute-Vienne).

PETIT (**Paul**), Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

PETIT (**Paul**). Professeur au Lycée de Foix (Ariège).

PETITEAU (**Marcel**), Professeur au Lycée, 13, rue de Strasbourg, à Nantes (Loire-Inférieure).

PEYRUSSON (**Édouard**). Professeur de Chimie et de Toxicologie à l'École de Médecine et de Pharmacie, 17, chemin Petit-Tour, à Limoges (Haute-Vienne).

PFAUNDLER (**Léopold**), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut physique, Halbartgasse, 1, Gratz (Autriche).

PHASMANN (**Augustin**), Maire de Saint-Mihiel (Meuse).

PHILBERT, ancien Receveur des Télégraphes, 58, rue d'Antrain, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

PHILIPPE (**A.**), Professeur au Lycée, 5, rue de l'Abattoir, à Bourges (Cher).

PHILIPPON (**Paul**), Professeur au Lycée, 24, rue Quesnel-Morinière, à Coutances (Manche).

MM.

PICARD (**Frédéric**), Docteur en médecine, Villa Rivoire, à Cannes (Alpes-Maritimes).

PICOU (**R.-V.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand. Paris, 17e.

PIEUX, Professeur à Alberville (Savoie).

PILLEUX, Ingénieur électricien, villa d'Alésia, 5, 111 *bis*, 111 *ter*, rue d'Alésia. Paris, 14e.

PILTSCHIKOFF (**Nicolas**), Professeur à l'Institut technique de Karkow (Russie).

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue Denfert-Rochereau, à Grenoble (Isère).

PIROT (l'abbé), Chanoine honoraire, Supérieur de l'Institution Sainte-Marie, à Bourges (Cher).

POCHETTINO (**C.-Alfredo**), Instituto Fisico della R. Universita, à Rome (Italie).

POINCARÉ (**Antoni**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, 10, rue de Babylone. Paris, 7e.

POINCARÉ (**Henri**), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 63, rue Claude-Bernard. Paris, 5e.

POINCARÉ (**Lucien**), Inspecteur général de l'Instruction publique, 130, rue de Rennes. Paris, 6e.

POINTELIN. Professeur de Physique au Lycée d'Amiens (Somme).

POLLAK-WSCIEKLICA (Mme **Marcella**). Licenciée ès sciences physiques, place Macé, à Antibes (Alpes-Maritimes).

POLLARD (**Jules**), Directeur du Génie maritime, Directeur de l'Établissement d'Indret, par Basse-Indre (Loire-Inférieure).

POMEY (**J.-B.**), Ingénieur des Télégraphes, 140, boulevard Raspail. Paris, 6e.

PONSELLE (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 114, avenue de Wagram. Paris, 17e.

PONSONNARD (**Abel**), Sous-Inspecteur au Service du matériel de la traction des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette. Paris, 10e.

PONSOT (**A.**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Institut physique, 50, rue Gauthier-de-Châtillon, à Lille (Nord).

POPOFF (**Alexandre**), Professeur à l'École des Torpilleurs marins, Classe des officiers de Marine, à Cronstadt (Russie).

POPP (**Victor**), ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des Horloges pneumatiques, 9, rue Margueritte. Paris, 17e.

POSTEL-VINAY, Ingénieur, 219, rue de Vaugirard. Paris, 15e.

POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

POUTEAUX, Constructeur, 115, rue de la Préfecture, à Dijon (Côte-d'Or).

POZZI-ESCOT (**E.**), Chimiste, 23, rue de Jéricho, à Malzeville (Meurthe-et-Moselle).

PRÉAUBERT (**E.**), Professeur honoraire, 13, rue Proust, à Angers (Maine-et-Loire).

MM.

PRÉOBRAJENSKY (**Pierre**), Bolchaia Grousinskaia, 10 A, à Moscou (Russie).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres (Angleterre).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (Russie).

PRETORIANO (**Marin**), Professeur à l'École militaire de Craïova (Roumanie).

PRIEUR (**Albert**), Industriel, 76, boulevard Malesherbes. Paris, 8e.

PUPIN, Docteur en Médecine, 27, quai de la Tournelle. Paris, 5e.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 38, avenue Friedland. Paris, 8e.

QUESNEVILLE (Dr), Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie, 1, rue Cabanis. Paris, 14e.

RADIGUET, Opticien-Constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire. Paris, 3e.

RALLET, Professeur à l'Université de Jassy (Roumanie).

RAMEAU (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers (Nièvre).

RANQUE (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion. Paris, 5e.

RAU (**Louis**), Administrateur délégué de la Compagnie Continentale Edison, 7, rue Montchanin. Paris, 17e.

RAVEAU (**Camille**), Physicien au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, 61, boulevard Sébastopol. Paris, 1er.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux (Gironde).

RAYMOND (**Eugène**), Ingénieur principal de la Compagnie des Messageries maritimes, à la Ciotat (Bouches-du-Rhône).

REBOUL, Professeur au Lycée de Chartres (Eure-et-Loir).

RECHNIEWSKI (**W.-C.**), Ingénieur électricien, 1, avenue de l'Alma. Paris, 8e.

RECOURA (**Albert**), Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble (Isère).

RÉGNARD (Dr **P.**), Membre de l'Académie de Médecine, Directeur de l'Institut agronomique, 222, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

RENARD (**Charles**), Colonel du Génie, Directeur de l'Établissement central d'Aérostation militaire, 7, avenue de Trivaux, à Chalais-Meudon (Seine-et-Oise).

RENAULT (**Albert**), Chimiste, 16, rue Paul-Louis-Courier. Paris, 7e.

REVOY, Professeur au Lycée Gay-Lussac, 25, avenue des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).

REY PAILHADE (**J. de**), Ingénieur civil des Mines, 18, rue Saint-Jacques, à Toulouse (Haute-Garonne).

RIBAN (**Joseph**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, Professeur à l'École des Beaux-Arts, 85, rue d'Assas. Paris, 6e.

RIBIÈRE (**Charles**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (service des Phares), 1, rue Edmond-About. Paris, 16e.

RICARD (Dr **E.**), Chirurgien de l'Hôpital, 6, impasse Voltaire, à Agen (Lot-et-Garonne).

RICHARD (**Jules**), Ingénieur-Constructeur, 25, rue Mélingue. Paris, 19e.

MM.

RICHET (**Ch.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université. Paris, 7e.

RIEFFEL (**A.**), 3, rue des Princes, à Monaco (Principauté de Monaco).

RIGOLLOT (**Henri**), Chargé de Cours de Physique industrielle à l'Université, 43, chemin des Grandes-Terres, à Lyon (Saint-Just) (Rhône).

RIVIÈRE (**Charles**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 30, rue Gay-Lussac. Paris, 5e.

RIVIÈRE, Docteur en Médecine, 25, rue des Mathurins. Paris, 9e.

ROBERT (**A.-C.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 54, rue du Four. Paris, 6e

ROCHEFORT (**Octave**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur technique de la Société anonyme Mors, 48. rue du Théâtre. Paris, 15e.

RODDE (**Ferd.**), 61, rue Rochechouart. Paris, 9e.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 54, rue de Lisbonne. Paris, 8e.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay (Marne).

ROJESTWENSKY (**Dmitri**), Laborant à l'Institut de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

ROGOVSKY (**Eugène**), Professeur à l'Université de Kharkow (Russie).

ROLLAND (**Étienne**). Professeur au Lycée, 32, route de Bordeaux, à Poitiers (Vienne).

ROMILLY (**Paul Worms de**), Inspecteur général des Mines, 7, rue Balzac. Paris, 8e.

ROPIQUET, Pharmacien, rue Jules-Barni, à Amiens (Somme).

ROQUES (Dr **C.**), Aide de clinique électrothérapique à la Faculté de Médecine, 29, rue Saint-François, à Bordeaux (Gironde).

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'Usine Poirrier, 61, route de Saint-Leu, à Enghien (Seine-et-Oise).

ROSSET (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 4, rue Alboni. Paris, 16e.

ROTHÉ (**Edmond**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Grenoble (Isère).

ROTHSCHILD (baron **Edmond de**), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré. Paris. 8e.

ROUBAULT, Professeur au Lycée d'Angoulême (Charente).

ROUDET (**L.**), Professeur au Lycée de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

ROUMAILLAC, Docteur en Médecine, à Captieux (Gironde).

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles (Belgique).

ROUSSELET, Proviseur du Lycée de Saint-Étienne (Loire).

ROUSSELOT (l'abbé), Professeur à l'Institut catholique, 74, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

ROUX (**Gaston**), Ingénieur-Conseil, Directeur du Bureau de Contrôle des installations électriques, 12, rue Hippolyte-le-Bas. Paris, 9e.

ROY (**Georges-Eugène**), Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, 12, rue Colson, à Dijon (Côte-d'Or).

MM.

ROYCOURT (**Eugène**), Constructeur électricien, successeur de M. Bonetti, 69, avenue d'Orléans. Paris, 14e.

ROZET (Mlle **Thérèse**), Professeur au Lycée de jeunes filles, 4, rue du Chilon, Le Havre (Seine-Inférieure).

ROZIER (**F.**), Docteur en Médecine, 10, rue du Petit-Pont. Paris, 5e.

RYTKATCHEFF (Général), Directeur de l'Observatoire Physique Central Nicolas, Wassiliewski Ostrow, 33, ligne n° 2, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SACERDOTE (**Paul**), Ancien Élève de l'École Normale supérieure, Professeur agrégé au Collège Sainte-Barbe, 97, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

SADOWSKY (**Alexandre**), Professeur de Physique à l'Université impériale, à Dorpat (Russie).

SAGNAC (**Georges**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 4, rue Boissonnade, à Paris, 14e.

SAID (**Dj. Mehmeh**), Ingénieur attaché technique à l'Ambassade de Turquie, à Paris, 106, boulevard Arago. Paris, 14e.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie parisienne du Gaz, 73, rue Berthier. Paris, 17e.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), ancien Directeur des Manufactures de l'État, Administrateur délégué de la Société anonyme des anciennes salines domaniales de l'Est, 95, rue de Courcelles. Paris, 17e.

SAINTIGNON (**F. de**), Maître de forges à Longwy (Meurthe-et-Moselle).

SAIVRE (**Maurice de**), Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité, 52, rue de Vaugirard. Paris, 6e.

SALADIN (**Édouard**), Ingénieur civil des Mines, chez MM. Schneider et Cie, au Creusot (Saône-et-Loire).

SALLES (**Adolphe**), 1, rue Rabelais. Paris, 8e.

SALLES (**Édouard**), Licencié ès Sciences Physiques, attaché au Laboratoire de recherches physiques de la Sorbonne, 58, rue de Clichy. Paris, 9e.

SALMON, Professeur au Lycée, 15, rue du Mûrier-d'Espagne, à Nîmes (Gard).

SAMANA DE CHIKLI (**A.**), 13, rue Sidi-Sofian, à Tunis (Tunisie).

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 119 *bis*, rue Notre-Dame-des-Champs. Paris, 6e.

SANTAIS (l'Abbé), Vicaire à Saint-Romain, 99, boulevard Beauvoisine, à Rouen (Seine-Inférieure).

SANTERRE, 23, quai d'Orsay. Paris, 7e.

SARASIN (**E.**), Docteur ès Sciences, Grand Saconnex, à Genève (Suisse).

SARDING (**Jean-Marie-Auguste**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Toulouse (Haute-Garonne).

SARRAN (**E.**), Professeur au Lycée, 20, cours Pasteur, à Bordeaux (Gironde).

SARRAZIN, Professeur à l'École des Arts et Métiers et à l'École de Médecine, 8, rue Saint-Serge, à Angers (Maine-et-Loire).

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren. Paris, 15e.

SAUVAGE (**E.**), Postes et Télégraphes, à Tourane (Annam).

MM.

SCHAFFERS (R. P. **Victor**), S. J., Docteur ès sciences physiques et mathématiques, Professeur au Collège de la Compagnie de Jésus, 11, rue des Récollets, à Louvain (Belgique).

SCHILLER (**Nicolas**), Directeur de l'Institut technologique à Karkoff (Russie).

SCHÜRR, Docteur ès sciences, Professeur au Lycée, 60, rue Pont-de-Garonne, à Agen (Lot-et-Garonne).

SCHWEDOFF, Professeur de Physique, Recteur de l'Université d'Odessa (Russie).

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, Directeur de la Maison Breguet, 15, rue Bizet. Paris, 16e.

SCOBELZINE (**Wladimir**), Professeur au Polytechnicum, Sosnowka, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SEBERT (le Général), Membre de l'Institut, 14, rue Brémontier. Paris, 17e.

SECRÉTAN (**G.**), Ingénieur-Opticien, 13, place du Pont-Neuf. Paris, 1er.

SECRETARY OF THE BOARD OF EDUCATION, Londres W. C. (Angleterre)

SECTION TECHNIQUE DE L'ARTILLERIE représentée par M. Raibaud, Capitaine d'artillerie, adjoint à l'atelier de précision, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin. Paris, 7e.

SELIGMANN-LUI, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart Paris, 16e.

SELLA (**Alfonso**), Professeur « Istituto fisico della R. Universita », à Rome (Italie).

SEMENOV (**Jules**), 75, rue de la Tour. Paris, 16e.

SENTIS, Professeur au Lycée, 17, boulevard de Bonne, à Grenoble (Isère).

SERPOLLET, Ingénieur, 11, rue de Stendhal. Paris, 20e.

SERRÉ-GUINO, Examinateur honoraire à l'École de Saint-Cyr, 114, rue du Bac. Paris, 7e.

SIEGLER, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef de la voie des Chemins de fer de l'Est, 48, rue Saint-Lazare. Paris, 9e.

SIEGLER (**Jean**), Ingénieur des Mines, à Moulins (Allier).

SIGALAS (Dr **C.**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 67, rue de la Teste, à Bordeaux (Gironde).

SIMON (**L.-J.**). Sous-Directeur du Laboratoire de Chimie à l'École normale supérieure, 15, rue Vauquelin. Paris, 5e.

SIRE (**G.**), Correspondant de l'Institut, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT. Professeur au Lycée Saint-Louis, 73, rue de Rennes. Paris, 6e.

SMOLUCHOWSKI DE SMOLAN (le Chevalier **M.**), Docteur ès Sciences, Professeur à l'Université Léopole, Duglosza, 8, rue Léopole-Lemberg (Autriche).

SOKOLOW (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

SORBIER (**J.**), Professeur au Collège de Bône (Algérie).

MM.

SORET (**Adrien**), Professeur au Lycée, 11, rue Edmond-Morin, au Havre (Seine-Inférieure).

SPRING (**W. V.**), Membre de l'Académie Royale, Professeur à l'Université, 32, rue Beckmann, à Liége (Belgique).

STACKELBERG (baron **Édouard de**), Reval Dom Ritterhaus (Russie).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

STEPANOFF (**A.**), Ancien Professeur de Physique, Lesnoï, rue Kropotkinskaïa, n° 4, à Saint-Pétersbourg (Russie).

STSCHEGLAYEF (**Woldemar**), Professeur de Physique à la Haute-École technique de Moscou (Russie).

STIASSNIE (**Maurice**), Opticien, 204, boulevard Raspail, Paris, 14e.

STRAUSS (Le Colonel **S.**), Directeur du Génie, à Toul (Meurthe-et-Moselle).

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 13, rue Legendre, Paris, 17e.

SULZER (**E.-C.**), Docteur en Médecine, 22, rue de Tocqueville, Paris, 17e.

SWYNGEDAUW (**R.**), Maître de Conférences à l'Institut de Physique, 1, rue des Fleurs, à Lille (Nord).

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome (Italie).

TAILLEFER (**André**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue Bonaparte, Paris, 6e.

TANGL (**Charles**), Professeur à l'Université, Monostori ut 72, à Kolozvár (Hongrie).

TARIEL (**Paul**), Docteur en Médecine, 19, rue Kléber, à Issy-les-Moulineaux (Seine).

TARRADE, Attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Météorologiste au Bureau central météorologique, Directeur de l'observatoire de Météorologie dynamique, 33, rue Dumont-d'Urville, Paris, 16e.

TEPLOFF (**N.**), Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir-Kaies, 15, Maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

TERMIER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 164, rue de Vaugirard, Paris, 15e.

TERRIER, Professeur au Lycée, 38, rue du Bel-Air, à Laval (Mayenne).

THÉLIER (**Marcel**), 24, rue Cassette, Paris, 6e.

THÉNARD (le baron **Arnould**), chimiste-agronome, 6, place Saint-Sulpice, Paris, 6e.

THIESEN (Dr **Max**), Professeur Physikalischen Technische Reichsanstalt, Charlottenburg-Berlin (Allemagne).

THOMAS, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger (Algérie).

THOMPSON (**Silvanus-P.**), Professeur à Finsbury Technical College, Morland, Chislett Road, West Hampstead, Londres N.-W. (Angleterre).

MM.

THOUVENEL (**N.**), Professeur au Lycée Charlemagne, 19, boulevard Morland. Paris, 4e.

THOVERT, Docteur ès Sciences, Préparateur à la Faculté des Sciences, 70, rue Charlet, à Lyon (Rhône).

THURNEYSSEN (**J.**), ancien Élève de l'École Polytechnique, successeur de la maison Alvergniat-Chabaud, 58, rue Monsieur-le-Prince. Paris, 6e.

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSIER. Professeur au Lycée Voltaire, 1, rue Mirbel. Paris, 5e.

TISSOT, Lieutenant de vaisseau, Professeur de Physique à l'École Navale, 2, Cité d'Antin, à Brest (Finistère).

TOMBECK, Docteur ès Sciences, 59, boulevard Pasteur. Paris, 15e.

TONARELLI, Proviseur du Lycée de Chambéry (Savoie).

TORCHEBEUF (**Ch.**), Constructeur d'instruments de Physique, 15, rue de l'Estrapade. Paris, 5e.

TOUANNE (**G. de la**), Ingénieur des Télégraphes, 80, rue Bonaparte. Paris, 6e.

TOUPOT (**J.-E.**), Curé de Robert-Espagne (Meuse).

TOUREN (**Charles**), Professeur au Collège Rollin, 7, boulevard Rochechouart. Paris, 9e.

TOURRIOL (**Jean**), Professeur au Lycée, 19, rue Saint-Léonard, à Angers (Maine-et-Loire).

TRAVERS (**J.**), 37, boulev. de la Tour-d'Auvergne, à Rennes (Ille-et-Vilaine).

TRIPIER (Dr), 8, rue Vignon. Paris, 9e.

TRIPIER, Ingénieur Électricien, 17, rue Alphonse-de-Neuville. Paris, 17e.

TROOST, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Bonaparte. Paris, 6e.

TSCHERNING (Dr **Marius**), Directeur du Laboratoire d'Opthalmologie à la Faculté des Sciences, 15, rue de Mézières. Paris, 6e.

TULEU (**Charles**), Ingénieur, 58, rue d'Hauteville. Paris, 10e.

TURPAIN (**Albert**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 95, rue de la Tranchée, à Poitiers (Vienne).

UCHARD (**A.**), Chef d'escadron d'Artillerie, 33, rue Voltaire, à Brest (Finistère).

ULLMANN (**Jacques**), Constructeur électricien, 16, boulevard Saint-Denis. Paris, 10e.

UNIVERSITÉ DE SYDNEY (**New South Wales**).

VAGNIEZ (**Édouard**), 14, rue Lemercier, à Amiens (Somme).

VANDEVYVER-GRAU (**L.-N.**), Docteur ès sciences, Professeur à l'Université, 63, boulevard de la Citadelle, à Gand (Belgique).

VARENNE (**de**), 7, rue de Médicis. Paris, 6e.

VARIN (l'abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

MM.

VARRET (**René**). Ingénieur-électricien, Constructeur de machines électriques, 81, boulevard Voltaire. Paris, 11e.

VASSEUR (**Alfred**), villa Les Primevères, à Beau-Soleil (Alpes-Maritimes).

VAUGEOIS (**Jean-Georges**), Ingénieur électricien, Fabricant d'accumulateurs, 20, rue du Congrès, à Asnières (Seine).

VAUTIER (**Théodore**), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon (Rhône).

VAYSSIÈRES (**Louis**), Professeur au Lycée, 7, rue Antoine-Marty, à Carcassonne (Aude).

VEILLON (**Henri**), Docteur en Philosophie, Professeur à l'Université, 27, rue Euler, à Bâle (Suisse).

VELTER (**Pierre-Jules-Edmond**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 42, rue Falguière. Paris, 15e.

VENOT (Mlle **Anne-Marie-Marguerite**), Professeur agrégé des Sciences au Lycée de jeunes filles, 18, cours Lafayette, à Lyon (Rhône).

VERNIER (**Victor**), Professeur au Lycée, 44, rue de Berlier, Dijon (Côte-d'Or).

VERNIER, Maître Répétiteur au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques. Paris, 5e.

VICENTINI (**Giuseppe**), Professeur de Physique à l'Université de Padoue (Italie).

VIDAL (**Gaston**), Professeur au Collège, 33, avenue Denfert-Rochereau, à Auxerre (Yonne).

VIEILLE, Membre de l'Institut, Directeur des Poudres et Salpêtres, 12, quai Henri-IV. Paris, 4e.

VIGNON (**Léo**), Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université, Institut de Chimie, rue de Béarn, à Lyon (Rhône).

VIGOUROUX (Dr **Romain**), Médecin de l'Institut municipal d'Électrothérapie à la Salpêtrière, 22, rue de Douai. Paris, 9e.

VILLARD (**P.**), Docteur ès Sciences, 45, rue d'Ulm. Paris, 5e.

VILLIERS (**Antoine**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire. Paris, 14e.

VINCENS (**Albert**), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques, 33, rue de Lubeck. Paris, 16e.

VINCENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 207, rue de Vaugirard. Paris, 15e.

VINCENT (l'Abbé), Professeur à l'Institution Saint-François-de-Sales, à Alençon (Orne).

VIOLET (**Léon**), 167, rue de Rennes. Paris, 6e.

VIOLLE, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 89, boulevard Saint-Michel. Paris, 5e.

VLASTO (**Ernest**), Ingénieur-Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles. Paris, 5e.

VOIGT, Professeur honoraire du Lycée de Lyon, à Géanges, par Saint-Loup-de-la-Salle (Saône-et-Loire).

MM.

VOISENAT (**Jules**), Ingénieur en Chef des Télégraphes, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

WAALS (**VAN DER**), Professeur à l'Université d'Amsterdam (Hollande).

WAHA (**de**), Ancien Professeur de Physique, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALCKENAER (**Charles**), Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 218, boulevard Saint-Germain. Paris, 7e.

WALLON (**Étienne**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony. Paris, 17e.

WEIL (**Albert**), Docteur, 151, boulevard Magenta. Paris, 10e.

WEINBERG (**Boris**), Privat docent de Physique à l'Université d'Odessa (Russie).

WEISS (Dr **Georges**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin. Paris, 16e.

WEISS (**Pierre**), Professeur à l'Institut de Physique de Zurich (Suisse).

WEISSMANN (**Gustave**), Ingénieur des Constructions civiles E.C.P., 47, rue de Boulainvilliers. Paris, 16e.

WERLEIN (**Ivan**), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm. Paris, 5e.

WEST (**Emile**), Ingénieur, 29, rue Jacques-Dulud, à Neuilly-sur-Seine.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère. Paris, 17e.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique, à Erlangen (Allemagne).

WILLIAMS et NORGATE, Libraires, 14, Henrietta Street, Covent Garden, Londres W. C. (Angleterre).

WILLOT (**A.**), Licencié ès sciences, 24, rue Cassette. Paris, 6e.

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, Professeur aux Facultés catholiques, 29, rue d'Antin, à Lille (Nord).

WOLF (**Charles**), Membre de l'Institut, Astronome honoraire de l'Observatoire, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 13, rue de l'Estrapade. Paris, 5e.

WOLFF (Dr **Edmond**), Professeur à l'École de Médecine, 52, rue Bernard-Palissy. à Tours (Indre-et-Loire).

WOULFF (**Georges**), Professeur de Minéralogie à l'Université de Varsovie (Russie).

WUILLEUMIER (**H.**), Docteur ès Sciences, Ingénieur, 46, rue Lepic. Paris, 18e.

WYROUBOFF (**G.**), Professeur au Collège de France, 20, rue Lacépède. Paris, 5e.

YVON (**P.**) Membre de l'Académie de Médecine, 26, avenue de l'Observatoire. Paris, 14e.

MM.

ZAHM (le R. P. **J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université, à Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 1262, Augustinas, à Santiago (Chili).

ZETTER (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Compagnie française d'appareillage électrique, 16, rue Montgolfier. Paris, 3e.

ZILOFF (**Pierre**), Professeur de Physique à l'Université, allée de Jérusalem, 3 *i*, Varsovie (Russie).

ZIMMERN (**A.**), Ancien Interne des Hôpitaux, 121, boulevard Haussmann. Paris, 8e.

ZIVY (**Louis**), Professeur de Physique, 2, rue de la Préfecture, à Digne (Basses-Alpes).

Mars 1905.

Prière d'adresser les rectifications et changements d'adresse à M. A. Sandoz, agent général de la Société, 119 *bis, rue Notre-Dame-des-Champs* (6e).

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

A. TURPAIN. — Sur le fonctionnement des cohéreurs associés..... 5
H. PELLAT. — Du rôle des corpuscules dans la formation de la colonne anodique. Loi générale de la magnétofriction..... 12
J. LEMOINE et L. CHAPEAU. — Différents régimes de l'étincelle fractionnée par soufflage..... 21
Henri DEVAUX. — Sur l'épaisseur critique des solides et des liquides réduits en lames minces..... 24
E. GRASSOT. — Fluxmètre..... 27
Ch. FÉRY. — Télescope pyrométrique..... 32
LAURIOL. — Le photomètre Simmance Abbady..... 36
Ch. FABRY et A. JOBIN. — Sur un nouveau spectroscope autocollimateur... 39
MARAGE. — Théorie élémentaire de l'audition..... 46
NAGAOKA et K. HONDA. — Sur l'aimantation et la magnétostriction des aciers au nickel..... 57
Ch.-Ed. GUILLAUME. — Remarques sur le Mémoire de MM. *Nagaoka* et *Honda*. 64
A. TURPAIN. — Appareil à nettoiement automatique et continu du mercure. 65
Ch. MAURAIN. — Étude et comparaison des procédés de réduction de l'hystérésis magnétique..... 67
Capitaine FERRIÉ. — État actuel de la télégraphie sans fil..... 84
E. ROTHÉ. — Sur la polarisation des électrodes..... 99
E. BOUTY. — Cohésion diélectrique des mélanges..... 134
H. DUFET. — Recherches expérimentales sur l'existence de la polarisation rotatoire dans les cristaux biaxes..... 170
PÉROT et FABRY. — Rapport sur la nécessité d'établir un nouveau système de longueurs d'onde étalons, présenté au nom de la Société française de Physique..... 179
Eugène BLOCH. — L'ionisation par le phosphore et par les actions chimiques. 187
Ch. FÉRY. — Nouvel étalon à acétylène..... 202
W. DUDDELL. — Mesure des petits courants alternatifs de haute fréquence. 206

PROCÈS-VERBAUX ET RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS.

SÉANCE DU 15 JANVIER 1904..... 1*

C.-M. GARIEL. — Allocution..... 2*
C. TISSOT. — Sur l'effet enregistré par le détecteur magnétique..... 4*
Commandant BOURGEOIS. — La mission géodésique française à l'Équateur. Influence de cette mesure sur l'étude de la physique du globe. Premiers résultats..... 5*

Pages.

SÉANCE DU 6 FÉVRIER 1904 ..... 8*

D'ARSONVAL. — Allocution 8*
Eugène BLOCH. — Sur l'ionisation par le phosphore 8*
L. TEISSERENC DE BORT. — Décroissance de température dans la verticale, zone isotherme 9*
CH. NORDMANN. — Remarques au sujet de la communication de M. *L. Teisserenc de Bort* 10*

SÉANCE DU 19 FÉVRIER 1904 ..... 12*

E. DUCRETET. — Expérience montrant la production spontanée de courants alternatifs de fréquence élevée au moyen du téléphone 12*
DE KOWALSKI. — Sur la décharge disruptive à très haute tension 12*
A. TURPAIN. — Sur les propriétés des cohéreurs associés 13*
D'ARSONVAL. — Nouveau dispositif électrique permettant de souffler l'arc de haute fréquence 14*
D'ARSONVAL et GAIFFE. — Dispositifs de protection pour sources électriques alimentant les générateurs de haute fréquence 14*
Ch.-Ed. GUILLAUME. — Note sur la résistivité des aciers au nickel 14*

SÉANCE DU 4 MARS 1904 ..... 15*

VASILESCO KARPEN. — Sur le soufflage de l'arc de haute fréquence 16*
Henri DEVAUX. — Sur l'épaisseur critique des liquides et des solides réduits en lames très minces 16*
C. RAVEAU. — Démonstration élémentaire de la règle des phases 17*
H. PELLAT. — Du rôle des corpuscules dans la formation de la colonne anodique des tubes à gaz raréfiés 18*
V. CRÉMIEU. — Stato-voltmètre. Réglage automatique du potentiel d'un condensateur 19*
J. LEMOINE et L. CHAPEAU. — Différents régimes de l'étincelle soufflée 19*

SÉANCE DU 18 MARS 1904 ..... 20*

Victor HENRI et André MAYER. — Étude sur les solutions colloïdales. Application de la règle des phases à l'étude de la précipitation des colloïdes 20*
WYROUBOFF. — Remarques au sujet de la communication de MM. *V. Henri* et *A. Meyer* 22*
J. PERRIN. — Remarques au sujet de la communication de MM. *V. Henri* et *A. Mayer* 22*
E. GRASSOT. — Fluxmètre 22*
Ch. FÉRY. — Télescope pyrométrique pour basses températures 23*
VASILESCO KARPEN. — Nouveau récepteur pour la télégraphie sans fil 24*

SÉANCE ANNUELLE. — Réunions des jeudi 7, vendredi 8 et samedi 9 avril 1904 ..... 25*

Aug. CHARPENTIER. — Sur les rayons N émis par le corps humain 32*
Capitaine FERRIÉ. — État actuel de la télégraphie sans fil 34*

Pages.

J. Bergonié. — Étude calorimétrique sur le vêtement..... 36*
Arnoux. — Sur les moteurs d'automobiles..... 37*

SÉANCE DU 15 AVRIL 1904..... 40*

Lauriol. — Photomètre Simmance Abbady..... 40*
A. Broca. — Remarques au sujet de la communication de M. *Lauriol*..... 41*
Diltmann. — Lampe à alcool à incandescence pour laboratoire..... 41*
Ch. Fabry et A. Jobin. — Nouveau spectroscope autocollimateur..... 41*

SÉANCE DU 6 MAI 1904..... 43*

Marage. — Théorie élémentaire de l'audition..... 44*
P. Villard. — Sur la décharge électrique dans les gaz raréfiés..... 44*
H. Pellat. — Remarques au sujet de la communication de M. *P. Villard*.. 46*
A. Broca. — Remarques au sujet des observations de M. *H. Pellat*..... 46*
Stéphane Leduc. — Note sur la Cristallogénie..... 47*
Nagaoka et Honda. — L'aimantation et la magnétisation des aciers au nickel..... 47*

SÉANCE DU 20 MAI 1904..... 48*

H. Dufet. — Expériences sur la polarisation rotatoire dans les biaxes..... 48*
Ch.-Ed. Guillaume. — Théorie des aciers au nickel..... 49*
Tariel. — Nouveau microphone..... 50*

SÉANCE DU 3 JUIN 1904..... 51*

P. Villard. — Sur les rayons cathodiques..... 51*
E. Rothé. — Sur la polarisation des électrodes..... 52*

SÉANCE DU 17 JUIN 1904..... 55*

Fortin. — Sur la déviation électrostatique des rayons magnétocathodiques.. 55*
P. Villard. — Remarques au sujet de la communication de M. *Fortin*.... 57*
A. Turpain. — Appareil pour le nettoiement automatique du mercure..... 57*
Ch. Maurain. — Étude et comparaison des procédés de réduction de l'hystérésis..... 57*
A. Pérot. — Sur la mesure des longueurs d'onde..... 58*

SÉANCE DU 1er JUILLET 1904..... 59*

Ed. Bouty. — Cohésion diélectrique de la vapeur de mercure, de l'argon et de leurs mélanges..... 59*
G. Sagnac. — Sur la propagation de la phase des vibrations et sur les interférences au voisinage d'une ligne focale..... 61*

SÉANCE DU 18 NOVEMBRE 1904..... 62*

Albert Jagot. — Baromètre enregistreur..... 62*

Pages.
J. Violle. — La stéréoscopie sans stéréoscope 63*
Javal. — Remarques au sujet de la communication de M. *Violle* 64*
Ch. Féry. — Étalon à acétylène 64*

SÉANCE DU 2 DÉCEMBRE 1904 ..... 65*

P. Villard. — Sur les actions chimiques de la lumière 65*
A. Guébhard. — Remarques au sujet de la communication de M. *P. Villard*. 67*
P. Langevin. — Sur les ions de l'atmosphère 67*
V. Crémieu. — Remarques au sujet de la communication de M. *Langevin*. 70*

SÉANCE DU 18 DÉCEMBRE 1904 ..... 71*

A. Guébhard. — Sur la fonction photographique dans ses rapports avec les phénomènes d'inversion 71*
P. Villard. — Remarques au sujet de la communication de M. *A. Guébhard*. 72*
W. Duddell. — Mesure des petits courants alternatifs de haute fréquence. 76*
E. Rothé. — Photographies en couleurs obtenues par la méthode interférentielle, sans miroir de mercure 77*
G. Lippmann. — Remarques sur la communication de M. *E. Rothé* 78*
Liste des Ouvrages reçus pendant l'année 1904 ..... 79*
Liste des Membres de la Société 97*
Table des Matières 155*

35830 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.